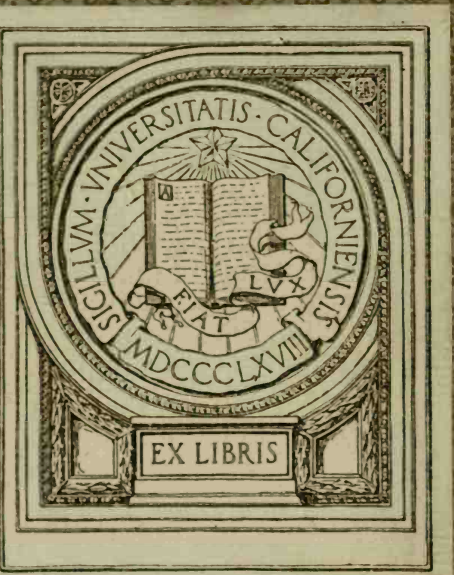


UNIVERSITY OF CALIFORNIA
Univ. of California
MEDICAL CENTER LIBRARY

DIE BRILLE
ALS OPTISCHES INSTRUMENT

SONDERABDRUCK AUS DER ZWEITEN AUFLAGE
DES HANDBUCHS DER GESAMTEN
AUGENHEILKUNDE

VON

M. VON ROHR
DR. PHIL., WISSENSCHAFTLICHEM MITARBEITER BEI CARL ZEISS IN JENA

MIT 48 FIGUREN IM TEXT UND 1 TAFEL

UNIV. OF
CALIFORNIA

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1911

R

COPYRIGHT 1911 BY WILHELM ENGELMANN, LEIPZIG.

UNIV. OF
CALIFORNIA

ALLVAR GULLSTRAND

GEWIDMET

51199

Vorwort.

Die kleine Schrift, die ich hiermit den Fachleuten, namentlich den Ophthalmologen, anbiete, hat einen doppelten Zweck. Sie soll auf Grund einer für die besprochenen Formen genügend eingehenden theoretischen Darstellung zeigen, welche Anforderungen man vorderhand an eine richtig konstruierte Brille stellen kann, und sie soll weiterhin die Prioritätsrechte der verschiedenen Erfinder feststellen, so weit mir das ohne eine gar zu weit abseits führende Beschäftigung mit diesem Thema möglich war. Wer meinen Entwicklungsgang auf optischem Gebiete kennt, wird wissen, daß mir die Vertretung älterer Rechte besonders am Herzen liegt.

Der theoretische Teil wäre von mir nie oder doch nie so geschrieben worden, wenn nicht der wissenschaftliche und persönliche Einfluß Herrn Allvar Gullstrands nicht allein die Anregung gegeben, sondern auch meine optischen Ansichten von Grund aus umgestaltet hätte. Wo ich auf seine Schriften hinweisen konnte, habe ich das getan, doch halte ich es für meine Pflicht, auch darauf aufmerksam zu machen, daß ich seiner bereitwillig gewährten Durchsicht meiner allerdings noch unvollständigen ersten Niederschrift Hinweise verdanke, deren Beachtung eine wesentlich größere Einheitlichkeit, Strenge und Anwendbarkeit zur Folge hatte.

Soweit mir die Literatur bekannt ist, handelt es sich hier um den ersten Versuch, das gesamte Gebiet der Brillenoptik auf der Grundannahme des bewegten Auges zu behandeln und die Eigenschaften der Brille so anzugeben, wie sie der Benutzer empfindet. Es sollte mich freuen, wenn es gelungen wäre, den Ophthalmologen diese Probleme näher zu bringen. Eine Anleitung zur Bestimmung der Brillenformen für den Ophthalmologen wird man aber hier vergebens suchen, denn das würde ich für einen Übergriff in das Gebiet des rechnenden Optikers ansehen.

Es ist meine Überzeugung, daß eine Arbeitsteilung insofern eingeführt werden sollte, als der Ophthalmologe den Zustand des anomalen Auges bestimmt und die Forderungen formuliert, denen das Brillenglas entsprechen soll, während die Wahl der Mittel dem rechnenden Optiker der ausführenden Anstalt vorbehalten bleibt. Der Ladenoptiker hat dann noch die wichtige

Aufgabe, die Brille dem Patienten so anzupassen, daß sie unter den Bedingungen benutzt wird, die bei der Rechnung angenommen wurden. Daß allen diesen Instanzen eine präzis formulierte Darstellung von Nutzen sein kann, ist wohl nicht zu bezweifeln.

Für die Angabe von Druckfehlern und andern Irrtümern, namentlich aber für Ergänzungen der historischen Darstellung, die, wie ich nur zu gut weiß, noch bei weitem nicht vollständig ist, werde ich aufrichtig dankbar sein.

Vorgesehen ist ferner ein systematischer Teil ungefähr nach Art dessen in den binokularen Instrumenten. Es soll für jedes der 25 Gebiete auf die im historischen Teile behandelten einschlägigen Arbeiten hingewiesen werden, und zwar soll die Aufzählung innerhalb eines jeden Gebietes chronologisch geschehen.

Den Schluß soll ein Literaturverzeichnis der bekannten Art bilden.

Jena, im Januar 1911.

Moritz von Rohr.

Inhalt.

Theoretischer Teil.

Seite

Einleitung 1
Vorbemerkungen über die Brille als optisches Instrument 2
Die Schutzbrillen 2
Vorrichtungen zur Erweiterung des Gesichtsfeldes 3
Brillen zur Unterstützung nicht normaler Augen 4
Die Erhöhung des Sehvermögens durch Verengerung der Öffnung 4
Die Erhöhung des Sehvermögens mittels durchsichtiger Mittel mit optisch bearbeiteten Grenzflächen 4

Die Glasbrillen.

Die Begrenzung der Gläser durch den Rand 5
Die hauptsächlichen Grenzflächen der Brillengläser 7
I. Anastigmatische Linsen 7
1. Achsensymmetrische Linsen 7
a) Die gewöhnlichen Brillen (ohne punktuelle Abbildung) 7
Die Herbeiführung eines deutlichen Netzhautbildes 8
Die Brillen mit einer einzigen Brennweite 8
Die Brillen für ametrope Augen (die korrigierenden Brillen) . 8
Die Bildgröße beim brillenbewaffneten Auge 12
Die Sehschärfe 18
Die Presbyopen- und die Lupenbrillen 22
Die Bestimmung des korrigierenden Brillenglases 24
Die Bestimmung der Brechkraft eines vorliegenden Brillenglases 25
Die üblichen Formen der einfachen Brille 27
Brillen aus zwei Linsen 28
Die Brillen mit verschiedenen Brennweiten 31
Die Vorhängebrillen 31
Die Bifokalbrillen 31
b) Die punktuell abbildenden Brillen 32
Die Berücksichtigung des Augendrehpunkts 32
Das Sehen mit bewegtem Auge 33
Die Brillen mit einer einzigen Brennweite 35
Die Lupenbrillen 35
Die Verzeichnung im allgemeinen 35
Der Astigmatismus schiefer Büschel im allgemeinen . . 37
Der Astigmatismus schiefer Büschel der Lupenbrille . . 40
Die Form der Bildfläche bei der Lupenbrille 43
Die Verzeichnung der Lupenbrillen 46

Seite

Die Presbyopenbrillen 46
Die Korrektionsbrillen 47
Der Astigmatismus schiefer Büschel der Korrektionsbrillen 47
Die Form der Bildfläche bei Korrektionsbrillen 50
Auge und Korrektionsbrille bei schiefer Blickrichtung . . 52
Die Verzeichnung bei Korrektionsbrillen 55
Besondere Formen der punktuell abbildenden Brillen 57
Punktuell abbildende Starlinsen mit sphärischen Grenzflächen 58
Asphärisch-sphärische Starbrillen (Gullstrandsche Starbrillen) 59
Die Fernrohrbrillen für stark kurzsichtige Augen 61
Die Brillen mit mehreren Brennweiten 63
Die Vorhängebrillen 63
Die Bifokalbrillen 63
Bifokalbrillen mit vier optisch bearbeiteten Grenzflächen. 63
Bifokalbrillen mit zwei optisch bearbeiteten Grenzflächen 63
Bifokalbrillen mit drei optisch bearbeiteten Grenzflächen. 64
2. Nur zweifach symmetrische Gläser 67
3. Einfach symmetrische Gläser (Schielbrillen) 68
a) Die gewöhnlichen Brillen (ohne punktuelle Abbildung) 68
b) Die punktuell abbildenden Brillen 74
II. Astigmatische Linsen 79
1. Zweifach symmetrische Gläser 79
a) Die gewöhnlichen astigmatischen Brillen (für ruhende Augen) . . 80
b) Die Brille in Verbindung mit dem astigmatischen bewegten Auge 82
2. Einfach symmetrische Gläser 94
III. Die Farbenfehler der Brillen 95
1. Die Achromasie der Brechkraft 98
2. Die Achromasie der Hauptstrahlneigung 99
Achromatische Systeme mit gleichzeitiger Hebung des Astigmatismus schiefer Büschel 100
Die achromatischen punktuell abbildenden Starbrillen 100
Die achromatischen Fernrohrbrillen. 102
IV. Die Änderungen der Raumerfüllung durch die Brille 102
1. Die Änderung der Perspektive durch die Brille. 102
2. Die Brille als Instrument für beide Augen 110
Die Porrhallaxie der idealen Brille 110
Das beidäugige Sehen durch die gewöhnliche Brille . . . 112
Die Brillen für Anisometrope 113

Historischer Teil.

1. Das Zeitalter grundlegender Erfindungen bis zum ersten Drittel des 19. Jahrhunderts 114
2. Der empirische Ausbau der Grundideen von den dreißiger Jahren bis zum Ende des 19. Jahrhunderts 123
3. Die Ausbildung der Herstellungsmethoden und die Förderung der Theorie seit dem Ende des 19. Jahrhunderts 137

Seite
Die Erweiterung der Mittel zur Herstellung bekannter Brillenformen . 137
Die durch mechanische Vereinigung getrennter Linsenteile gebildeten Bifokalgläser 139
Die durch Verkittung gebildeten Bifokalgläser 139
Die durch Verschmelzen gebildeten Bifokalgläser 140
Die durch Anschliff gebildeten Bifokalgläser. 142
Die Entwicklung der Korrektionsbedingungen der Brille für das Sehen mit bewegtem Auge 142

Systematischer Teil.

Vorbemerkungen. 153
Systematische Anordnung 154
Literaturverzeichnis 159
Register. 170
Übersicht der hier berücksichtigten Arbeiten über die Brille 173

UNIV. OF CALIFORNIA

Die Brille als optisches Instrument.

Von

Dr. Moritz von Rohr,

wissenschaftlichem Mitarbeiter bei Carl Zeiss in Jena.

Mit 48 Figuren im Text.

Eingegangen im Februar 1911.

Theoretischer Teil.

§ 1. Die Brille ist ein optisches Instrument, das auf eine sehr alte Geschichte zurückblicken kann. Wenn auch aus dem Altertum keine deutlichen Spuren der Brille erhalten zu sein scheinen, so kann man doch, ohne Widerspruch zu finden, die Behauptung aufstellen, daß nach der Renaissance zuerst die Brille unter den optischen Instrumenten auftrat. Daß sie jetzt das verbreitetste optische Instrument ist und bleiben wird, darüber kann kein Zweifel bestehen. Und doch kann man kaum bestreiten, daß bis auf die neueste Zeit kein optisches Instrument seltener in wissenschaftlichem Geiste behandelt worden ist. Auch heute noch mangelt fast gänzlich das Verständnis für die Leistung, die man von der Brille erwarten darf. Der Grund für diese eigentümliche Erscheinung liegt in der engen Verbindung, in der die Brille zum Auge steht, und es ist unmöglich, eine zutreffende Theorie der Brille zu geben, solange ein Verständnis der optischen Vorgänge beim freien Sehen nicht vorausgesetzt werden kann. Es liegt in der Natur der Sache, daß die Ophthalmologen am meisten berufen waren, sich mit dem Gebrauch des Auges zu befassen, aber sie waren in der Regel keine Optiker, und die Optiker ihrerseits haben in einer sehr sonderbaren Weise dieser Aufgabe wenig Beachtung geschenkt. Sie haben sich vielmehr durch die mannigfachen Ähnlichkeiten, die sich zwischen dem Auge und einer Camera obscura finden, bewegen lassen, das Auge als eine Camera obscura zu betrachten und sich bei dieser, zwar nicht falschen aber unvollständigen, Ansicht zu beruhigen. Da ferner die

Herstellung von Brillen, die tatsächlich an die Sorgfalt der Ausführung nicht die höchsten Anforderungen stellt, auch für die Anwendung von Rechenmethoden nicht geeignet schien, so sind von der Seite der Optiker auch nicht einmal Versuche gemacht worden, die Brille durch wissenschaftliche Methoden auf eine höhere Stufe theoretischer Vollkommenheit zu heben, wieviel auch für die Ausbildung der Herstellungsmethoden geschehen sein mag.

Nach dem Vorhergegangenen ist es verständlich, daß jede Bewegung zur Verbesserung der Brille ihren Ausgang genommen hat von einem Anstoß von ophthalmologischer Seite und in dem vorliegenden Falle davon, daß eine eingehende Theorie des Sehvorganges beim freien Sehen von einem Ophthalmologen gegeben wurde, der zugleich ein Optiker von höchstem Range war. Dieser Ophthalmologe ist Allvar Gullstrand.

§ 2. **Vorbemerkungen über die Brille als optisches Instrument.** Unter einer Brille hat man ursprünglich allein verstanden eine aus durchsichtigem Material bestehende sphärische Linse, die zum Zwecke der Verbesserung des Sehvermögens vor das Auge gebracht wurde.

Im Laufe der Zeit ist man von dieser Definition nach mehreren Richtungen abgewichen, so daß eine neue Begriffsbestimmung viel weiter und darum unbestimmter werden muß. So wurde der Zweck der Brille durch die Aufnahme der Schutzbrillen erweitert[1]), das Material war in einzelnen Fällen nicht transparent, und schließlich paßt der Begriff einer sphärischen Linse schon seit einiger Zeit auch nicht mehr, so daß man richtiger die folgende Bestimmung annimmt: Unter einer Brille sei verstanden ein optisches Instrument, das geeignet ist, dauernd vor dem Auge getragen zu werden.

Selbstverständlich bleibt die alte Definition auch heute noch in einer großen Anzahl von Fällen gültig, und es seien daher in dieser Darstellung zunächst die minder wichtigen Zusätze erledigt, mit denen man im 19. Jahrhundert dies Gebiet erweitert hat.

§ 3. **Die Schutzbrillen.** Der Schutz betrifft zunächst mechanische Angriffe auf das Auge, wie sie von gröberen oder feineren Splittern, Staub, Luftzug usw. ausgeübt werden können. Wenn man von dem primitiven Mittel der Schutzgitter absieht, so kommen sowohl ebene als auch gekrümmte Grenzflächen durchsichtiger Mittel in Betracht. Soll bei sphärischen Krümmungen jede Linsenwirkung vermieden werden, und beschränkt

1) Ausgeschlossen sind hier die Brillen, die E. H. Oppenheimer (*1. 119, 119—123; 2. 80.*) kosmetische und orthopädische genannt hat, weil bei diesen Konstruktionen nicht das durch die Gläser tretende Licht die Hauptsache ist, sondern weil ihre Funktionen im wesentlichen durch die Brillenfassung ausgeübt werden.

man sich zunächst auf den paraxialen Raum, so ergibt sich unter Berücksichtigung der Brennweitenformel für Linsen endlicher Dicke d die hintere Krümmung $\varrho_2 = \frac{1}{r_2}$ aus der vorderen $\varrho_1 = \frac{1}{r_1}$ und dem Brechungsexponenten n des Materials zu

$$\varrho_2 = \frac{\varrho_1}{1 - \frac{n-1}{n} d\varrho_1}$$

oder umgeformt

$$r_2 = r_1 - \frac{n-1}{n} d.$$

Als Material für Schutzbrillen findet sich sowohl Glas und Bergkristall als auch (Marienglas) Glimmer und Zelluloid.

Als Träger kommen für diese Instrumente in Betracht sowohl Arbeiter verschiedener Berufszweige (z. B. Steinarbeiter) als auch Automobil- und Radfahrer. Besonderes Gewicht ist auf die Größe des Gesichtsfeldes zu legen. Wegen der verschiedenen äußeren Formen und namentlich auch der durch schlechte Ausführung verursachten Mängel dieser Brillenarten sehe man ein E. H. Oppenheimer (*1. 123—135, 126*).

Ein anderes Schutzbedürfnis ergibt sich aus der Reizung des Auges durch eine zu starke Bestrahlung. Hierfür schaffen farbige oder Rauchgläser Abhilfe, und zwar kommen sowohl ganz oder doch möglichst gleichmäßig gefärbte (isochrome) Gläser in Betracht, als auch solche, die nur an bestimmten Teilen gefärbt sind. Bei diesen handelt es sich in der Regel um Randteile, die vom Auge aus gesehen in der Richtung liegen, woher man die störende Strahlung erwartet. Sie werden auch als dichromatische Gläser bezeichnet. So ist der farbige Rand im allgemeinen nach oben gerichtet, um das Himmelslicht abzuschwächen, bei Schneebrillen aber nach unten.

Handelte es sich hier um das gewöhnliche weiße Licht, das mehr oder minder gleichmäßig geschwächt werden sollte, so hat man bei bestimmten künstlichen Lichtquellen die Augen auch gegen besondere, schädliche Strahlengruppen, namentlich solche kurzer Wellenlänge, durch farbige oder farblose Gläser schützen müssen. Ja, man hat die kurzwelligen Strahlen aus dem Tageslicht durch besondere Filterschichten zu entfernen gesucht.

§ 4. **Vorrichtungen zur Erweiterung des Gesichtsfeldes.** Kommt man nun zur Erhöhung der Sehleistung, so kann diese quantitativ sein und in der Erweiterung des Gesichtsfeldes liegen, wie sie durch eine Spiegelung ermöglicht wird. Sie kann sich sowohl auf seitlich, als auch auf rückwärts gelegene Teile des Gesichtsfeldes erstrecken. In dieser Absicht sind Seiten- und Rückblickbrillen konstruiert worden.

§ 5. **Brillen zur Unterstützung nicht normaler Augen.** Hierbei soll zunächst nur die Wirkung auf das Einzelauge untersucht werden, und erst zum Schluß mag eine Zusammenstellung der Forderungen folgen, die bei der Vereinigung zweier Brillengläser zu einem Instrument für das beidäugige Sehen zu berücksichtigen sind.

§ 6. **Die Erhöhung des Sehvermögens durch Verengerung der Öffnung.** Dieses natürliche Mittel, das Myopen von selbst anwenden, indem sie die Lidspalte zusammenkneifen, und das sich auch in der die Akkommodation begleitenden Verengerung der Pupille zeigt, findet sich bei den stenopäischen Brillen, sei es daß sie einen engen Spalt oder ein Loch oder eine Reihe von Löchern zeigen.

Zur Hebung von Ametropien finden sie nur sehr beschränkt Anwendung, häufiger kommen sie als Schießbrillen (engl. orthoptics) vor, wo sie allerdings auch einen andern Zweck haben, nämlich den, durch die Steigerung der Tiefe der deutlichen Wahrnehmung dem Schützen Objekt, Kimme und Korn gleichzeitig scharf zu zeigen. Da sich diese Forderung zwar weniger einfach aber viel vollkommener durch ein Zielfernrohr erreichen läßt, so verschwinden die Schießbrillen mehr und mehr aus dem Gebrauch.

§ 7. **Die Erhöhung des Sehvermögens mittels durchsichtiger Mittel mit optisch bearbeiteten Grenzflächen.** Der allgemeine Ausdruck »durchsichtige Mittel« läßt sich leicht spezialisieren, denn wenn auch für verschiedene Zwecke Zelluloid und Bernstein sowie Schmucksteine wie Beryll vorgeschlagen worden sind, so kommt für die Praxis außer Glas nur noch Quarz (Bergkristall) ernsthaft in Frage. Nachteile hat dieses Mittel nur insofern, als es doppelbrechend ist, doch spielt das beim Gebrauch kaum eine Rolle, wenn nur senkrecht zur Achse geschnittene Stücke verwandt werden. Als wesentliche Vorzüge sind jedoch zu erwähnen die große mechanische Härte, die die Quarzlinsen gegen Verkratzung schützt, und die geringe Dispersion, die ziemlich weit unter den Werten bleibt, die sich bei den in der Regel für Brillen verwendeten Glasarten finden. Hinzu kommt ein großes Wärmeleitungsvermögen, dem ein geringeres Beschlagen beim Übergang von niedrigeren zu höheren Temperaturen entspricht, und eine gute Materialbeschaffenheit ohne Blasen, Steinchen, Schlieren und Spannungen. Dagegen wird die Schutzwirkung gegen kurzwellige Strahlen durch die große Durchlässigkeit vermindert, die dem Quarz Glaslinsen gegenüber eigen ist.

Doch sei jetzt das Hauptthema behandelt, nämlich

Die Glasbrillen.

§ 8. Es wird zweckmäßig sein, hier zuerst auf die Begrenzung einzugehen. Im allgemeinen sind die Brillengläser als Linsen zu bezeichnen, und wenn man als allgemeine Definition der Linse nur die angeben kann, daß sie durch ein Stück Glas gebildet wird, das in der Bewegungsrichtung des in das Auge gelangenden Lichts mindestens durch zwei optisch bearbeitete Flächen begrenzt wird, so ist hier bei achsensymmetrischen Augen häufig schon eine Beschränkung auf achsensymmetrische Flächen, d. h. auf Umdrehungsflächen, eingetreten. Die Flächen dehnen sich, wie man leicht einsieht, quer zur Lichtrichtung aus, bilden also stets mit ihr einen endlichen nicht verschwindenden Winkel. Als eine im optischen Sinne weniger wichtige Begrenzungsfläche kommt noch der Rand des Brillenglases hinzu, der zweckmäßig aus Teilen von Lichtwegen gebildet sein sollte, meistens aber ebenfalls einen endlichen Winkel mit der Lichtrichtung bildet. Er hat keine abbildende Funktion, wohl aber fällt ihm die Begrenzung des Gesichtsfeldes zu. Da auch dies zweifellos eine wichtige Aufgabe ist, so seien hier die verschiedenen Formen des Randes beschrieben.

§ 9. **Die Begrenzung der Gläser durch den Rand.** Die sich aus der Herstellung am leichtesten ergebende und für die Exaktheit der Fassung auch zweckmäßigste Form der Begrenzung würde die kreisrunde sein. Sie würde auch insofern am zweckmäßigsten sein, als die Ausdehnung des Blickfeldes nach allen Richtungen die gleiche ist. Früher war sie auch allein im Gebrauch, sie wird aber jetzt nur noch bei bestimmten Gläsern, wie manchen für aphakische Augen, regelmäßig verwandt; dagegen verschwindet sie für andere Gläser mehr und mehr, weil sie Teile enthält, die im Interesse der Gewichtsverminderung und aus kosmetischen Gründen fortfallen können.

Unbedingt am weitesten verbreitet ist die elliptische Randform. Über die Wahl der Achsenlängen läßt sich a priori keine bestimmte Vorschrift machen. Dagegen hat die Praxis in den Großbetrieben auf die Einhaltung gewisser, an sich willkürlicher, Werte gedrängt. Diese Daten sind als Kalibermaße (amerikanische, deutsche) bekannt, und die Annahme bestimmter einheitlicher Vorschriften würde im Interesse einer raschen und billigen Versorgung des Marktes liegen.

Als Beispiel seien zwei Tabellen mitgeteilt, von denen die eine ovale Kaliberwerte einer deutschen, die andere solche einer amerikanischen Brillenfabrik[1]) angibt. Bedeutet a die große, b die kleine Achse der Ellipse, so ist

1) Man sehe übrigens auch die etwas abweichenden Werte bei E. Pergens [2].

im deutschen Beispiel				im amerikanischen Beispiel			
Nr.	a	b	$a:b$	Nr.	a	b	$a:b$
2	34,5	25,0	1,38	2	35,0	26,0	1,35
3	37,0	27,5	1,35	1	36,5	27,5	1,33
4	38,5	29,0	1,33	0	37,8	28,8	1,31
5	41,5	31,5	1,32	00	39,7	30,7	1,29
6	44,0	33,0	1,33	000	41,0	32,0	1,28
7	45,5	34,5	1,32	0000	44,5	35,5	1,25
8	48,0	36,5	1,32	Jumbo	46,4	37,4	1,24
9	50,0	38,0	1,32				

Man erkennt, daß in dem ersten Beispiel, abgesehen von der Nummer 2, der Wert

$$a:b = 1{,}33$$

ziemlich eingehalten worden ist. Dagegen nehmen in dem zweiten Beispiel die beiden Achsen genau um je die gleichen Beträge zu; die Folge davon ist, daß das Achsenverhältnis mit wachsender Glasgröße einen kleineren Wert erhält, die Brillengläser sich also mit wachsender Größe der Kreisform nähern.

Vom Standpunkte des Optikers ist zu der Kaliberfrage zu bemerken, daß man die Ausmaße individuell wählen sollte, indem man sie von der Schläfenbreite und dem Pupillenabstande abhängig machte. Setzt man voraus, daß die Bilder in peripheren Blickrichtungen nicht merklich verschlechtert werden, so sollte man den Durchmesser der Brille immer so groß machen, wie es das Gewicht und die kosmetischen Anforderungen zulassen. Ist aber diese Voraussetzung nicht erfüllt, wie bei den gewöhnlichen Brillen, so kann diese mangelnde Periskopizität ein drittes Moment darstellen, das, besonders bei starken Brillen, die Grenze des Durchmessers mit bestimmen soll.

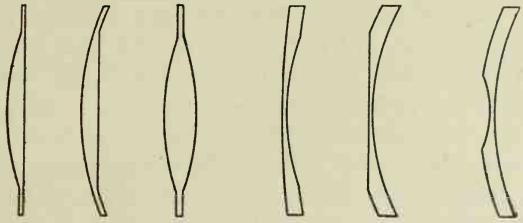
Von sonstigen, weniger wichtigen, Randformen seien noch die dachstein- und die hufeisenförmigen erwähnt.

Auch noch andere Funktionen hat man dem Rande oder besser randnahen Teilen des Brillenglases zuerteilt, die man damit ihrer eigentlichen Aufgabe entzog. So wollte man den Reflex an der Randfläche vermindern, und hat die Randteile geschwärzt, oder man hat den Rand besonders gestaltet, um die eine oder die andere Art der Fassung zu ermöglichen. Hierher gehören namentlich die sogenannten »Gläser neuer Schleifart«[1] (verres à facettes), bei denen es die Ausbildung des Randgebietes zu einer bloßen Trägerschicht erlaubt, kreisrunde Gläser kleinen Durchmessers in die gewöhnlichen elliptischen Fassungen zu bringen. Einige Formen finden sich in Figur 1 wiedergegeben. So wichtig eine solche Gestaltung

[1] Sie sind wohl besser als Nitschmannsche Gläser zu bezeichnen.

der randnahen Teile vom praktischen Gesichtspunkte, beispielsweise dem der Gewichtsersparnis, auch sein kann, so hat sie mit der optischen Wirkung des eigentlichen Brillenglases nichts zu tun, und bleibt hier unbesprochen.

Fig. 1.



Brillen höherer Brechkraft mit einer Trägerschicht zum Zwecke der Gewichtsverminderung.

§ 10. **Die hauptsächlichen Grenzflächen der Brillengläser.** In diesem Teile handelt es sich um die Entwicklung der wesentlichsten Eigenschaften der Brille, und es ergibt sich dadurch eine Einteilung von allgemeiner Bedeutung, daß man feststellt, ob für die Brillengläser einem Objektpunkt in der Achse wiederum ein axialer Bildpunkt im Sinne der Gaussischen Theorie entspricht oder nicht. Wenn das der Fall ist, so handelt es sich um anastigmatische Brillen, wenn nicht, um astigmatische Brillen.

I. Anastigmatische Linsen.

1. Achsensymmetrische Linsen.

§ 11. Es seien zunächst die beiden Begrenzungsflächen als Umdrehungsflächen angenommen, und zwar sei eine einzige Achse als vorhanden vorausgesetzt, so daß es sich um achsensymmetrische Brillengläser handelt.

Die weitere Einteilung soll unter dem Gesichtspunkte erfolgen, ob noch für andere Blickrichtungen als die axiale eine punktuelle Abbildung vorhanden ist oder nicht.

a) Die gewöhnlichen Brillen (ohne punktuelle Abbildung).

§ 12. Wenn zunächst diese behandelt werden, so geschieht das nicht bloß deshalb, weil dieser Klasse die überwiegende Mehrzahl der Brillengläser angehört, sondern weil hier zwanglos der wichtige Teil der Optik der Brille behandelt werden kann, der sich auf das ruhig und in der Achsenrichtung gehaltene brillenbewaffnete Auge bezieht.

Die Herbeiführung eines deutlichen Netzhautbildes.

§ 13. Die auf der Netzhaut stattfindende Strahlenvereinigung des von einem fernen Objekt ausgehenden Bündels ist an keinem Punkte von hoher Vollkommenheit, soweit dieser Begriff an die Vorstellungen eines technischen Optikers anknüpft. Wegen der nach den Seiten hin rasch abnehmenden Empfindlichkeit der Netzhaut seien zunächst alle größeren Neigungen ausgeschlossen, und man beschränke sich allein auf die Nachbarschaft der Augenachse, genauer der Strahlenrichtung, die nach dem Durchgang durch das optische System des Auges die Netzhautgrube trifft. Als Öffnung des parallelstrahligen Bündels sind je nach der Beleuchtung 2 bis 6 mm anzusetzen. Aber auch für diese ausgezeichnete Richtung ist die Strahlenvereinigung unvollkommen; es ergibt sich auf der Netzhaut eine Zerstreuungsfigur von großem Umfange, allerdings mit einer gegen den Rand hin rasch abnehmenden Lichtintensität. Die stärkste Lichtkonzentration findet sich nahe an dem Vereinigungspunkt der paraxialen Strahlen.

Die Brillen mit einer einzigen Brennweite.

§ 14. Es sei zunächst die fast selbstverständlich erscheinende Voraussetzung gemacht, daß es sich nur um eine einzige Brennweite des Brillenglases handelt. Es wird sich später zeigen, daß die Abnahme der Akkommodationsbreite mit dem Lebensalter zur Aufgabe dieser Voraussetzung führen kann.

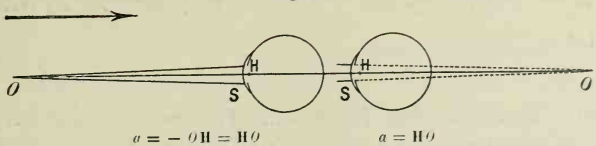
§ 15. **Die Brillen für ametrope Augen (die korrigierenden Brillen).** Im Ruhezustande des Auges, d. h. bei entspannter Akkommodation, wird von dem normalen oder emmetropischen Auge der unendlich ferne Punkt scharf wahrgenommen, von dem nicht normalen, dem ametropischen, ein um a m von dem vorderen Augenhauptpunkt entfernter. Dabei soll die Messung stets in der Bewegungsrichtung des Lichts erfolgen, die auf den beigegebenen Zeichnungen stets von links nach rechts gehend vorausgesetzt ist. Dementsprechend hat der Abstand a reeller Objektpunkte in der Figur 2 einen negativen, der virtueller einen positiven Zahlenwert. Man mißt durch die Größe

$$A = \frac{1}{a}$$

die Refraktion in Dioptrien (dptr), und man ersieht aus dem vorhergegangenen, daß emmetrope Augen den Refraktionswert Null haben, ametrope einen endlichen Wert von A Dioptrien. Die Ametropie hat im Falle eines virtuellen Fernpunktes einen positiven, im Falle eines reellen Fernpunktes einen negativen Wert, und man bezeichnet die positiven

Ametropien als Hypermetropien (auch Hyperopien), die negativen als Myopien. Als Grenzwerte kommen, wenn die häufigeren Fälle berücksichtigt werden sollen, etwa die Zahlen von — 20 dptr bis + 8 dptr in Betracht.

Fig. 2.



$a = -OH = HO$ $a = HO$

Die Refraktion

$$A = \frac{1}{a}$$

eines

myopischen hypermetropischen

Auges.

Nebenbei sei bemerkt, daß hier im wesentlichen nur Achsenametropien behandelt werden sollen, also Anomalien der Augenlänge. Die sonst noch vorkommenden Indexametropien sollen ganz unberücksichtigt bleiben, und die Krümmungsametropien nur insoweit besprochen werden, als es sich um aphakische Augen handelt.

Allgemein als korrigierend bezeichnet man ein Brillenglas, wenn das damit ausgerüstete Auge den unendlich fernen Punkt deutlich sieht.

Unter vorläufiger Beschränkung auf Licht einer einzigen Wellenlänge, d. h. unter Nichtberücksichtigung der chromatischen Differenzen, soll eine einfache Linse so ermittelt werden, daß sie als Korrektionslinse wirkt, wenn ihre Achse mit der Richtung der Augenachse zusammenfällt. Bei den hier behandelten achsensymmetrischen Systemen wird man sich auf Kugelflächen beschränken können, deren Radien durch die Krümmung des betreffenden Meridianschnittes in der Nähe der Achse bestimmt werden. Die Linse kann dünn sein, da es sich häufig um wenig geöffnete Systeme von langer Brennweite handelt, doch kommen auch — bei hohen Myopiegraden und bei aphakischen Augen — ziemlich kurze Brennweiten und zum Teil sehr merkliche Linsendicken vor.

Beträgt die Achsenametropie eines Auges A Dioptrien

$$A = \frac{1}{a}; \qquad a = \mathbf{H}O,$$

so ist, wie schon oben bemerkt wurde, und wie zum Überfluß auch in der Figur 2 angegeben wurde, die stets von links nach rechts gemessene Strecke mit einem negativen Zeichen zu versehen, wenn es sich um den Fall der Myopie handelt. Ist der dem Auge zugekehrte Linsenscheitel S des Brillenglases um

$$S\mathbf{H} = \delta$$

von dem Augenhauptpunkt **H** entfernt, so ergibt sich nach Figur 3 für den Bildabstand oder die Schnittweite $\overrightarrow{SO'} = s'$ des Brillenglases, das den fernen Punkt eben in O' abbildet, die Beziehung

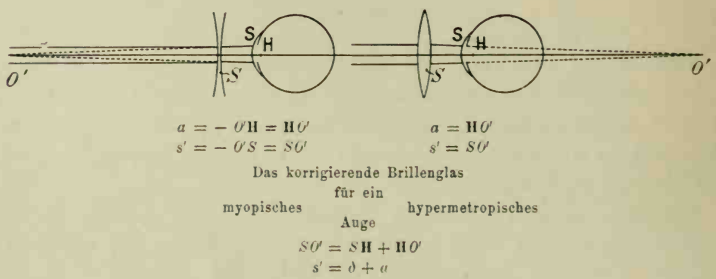
$\overrightarrow{SO'} = S\mathbf{H} - O'\mathbf{H}$ für Myopen $\quad \overrightarrow{SO'} = S\mathbf{H} + \mathbf{H}O'$ für Hypermetropen

oder für beide Fälle

$$s' = \delta + a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Beachtet man nun, daß der Abstand $\overrightarrow{\mathbf{H}O'} = a$ sowohl ein positives als auch ein negatives Zeichen haben kann, während δ positiv sein muß, wenn das Brillenglas eher als das Auge vom Licht durchsetzt werden soll,

Fig. 3.



so ergibt sich aus dieser noch ganz allgemeinen Beziehung, daß die Schnittweite des korrigierenden Glases für myopische Augen um den Brillenabstand kürzer, für hypermetropische um eben diesen Betrag länger sein muß als der Objektabstand des unbewaffneten Auges. Es ist von Wichtigkeit, daß in dieser allgemeinen Beziehung nur Abstände vom vorderen Augenhauptpunkt und Schnittweiten auftreten.

Hält man den Objektabstand $\overrightarrow{\mathbf{H}O'} = a$ fest, so ergibt sich beim Anwachsen des Abstandes δ, daß eine negative Brillenschnittweite von immer kleinerem Betrage das deutliche Sehen ermöglicht, während positive Schnittweiten unter entsprechenden Umständen immer größer werden müssen. Anderseits können bei festgehaltener Brillenschnittweite $\overrightarrow{SO'}$ innerhalb gewisser Grenzen um so kleinere Objektabstände erreicht (um so höhere Ametropiegrade ausgeglichen) werden, je näher am Auge das zerstreuende und je weiter vom Auge entfernt das sammelnde Korrektionsglas angebracht wird.

Als Wert für δ findet sich häufig aus sogleich zu erörternden Gründen 15 mm angegeben, d. h. etwa der konventionelle Abstand zwischen dem vorderen Brennpunkt und dem vorderen Hauptpunkt des Auges, der dem

Dondersischen reduzierten Auge entnommen ist. In der Praxis wird man diesen Abstand zweckmäßig so groß wählen, daß das Brillenglas von den Wimpern nicht mehr berührt wird. Es muß aber die Festlegung dieses Wertes für die theoretische Behandlung der Brille noch bis zu dem Zeitpunkt aufgeschoben werden, wo das Sehen mit bewegtem Auge behandelt werden kann.

Nimmt man jetzt an, daß es sich um dünne Linsen handele, so wird die zu dem entfernten Objektpunkt gehörige Schnittweite s' zur Äquivalentbrennweite f_1 des Brillenglases, und da man deren reziproken Wert als Brechkraft des Brillenglases bezeichnet, so läßt sich in die obige Aussage über den Einfluß von δ auch die Brechkraft der Linse einführen. Nennt man die so ermittelte Brechkraft des Brillenglases nach C. Hess (*1. 181*; *2. 200.*) den Korrektionswert der Ametropie, so erhält man entsprechend der Gleichung (1) eine Beziehung zwischen der Ametropie und ihrem Korrektionswert. Bei Brillen endlicher Dicke (etwa den Starbrillen) lassen sich aber die Äquivalentbrennweite und die Schnittweite nicht einander gleich setzen, sondern es ergibt sich bei festgehaltener Schnittweite s' und konstanter Linsendicke d eine von der Linsendurchbiegung abhängige Größe der Brennweite. Die beiden nachfolgenden Beispiele werden Belege dafür liefern; dabei ist angenommen, daß die plankonvexen Linsen dem Auge ihre Planfläche zuwenden und die schwach durchgebogenen Linsen ihre Hohlfläche, für die ein Radius von 12 cm Länge angenommen sei; der Brechungsexponent betrage 1,51.

			Gleichseitige Form	Plankonvexe Form	Schwach durchgebogene Form	
$d = 4{,}0$ mm	$s' = 0{,}1$ m	$f_1 =$	0,1013	0,1026	0,1038	m
	$\frac{1}{s'} = 10$ dptr	$D_1 =$	9,87	9,74	9,64	dptr
$d = 6{,}0$ mm	$s' = 0{,}067$ m	$f_1 =$	0,069	0,071	0,072	m
	$\frac{1}{s'} = 15$ dptr	$D_1 =$	14,56	14,16	13,93	dptr

Man erkennt aus dieser Tabelle, daß bei allen Brillengläsern, die nicht als dünne Linsen behandelt werden können, zweckmäßig ein Ausdruck für $\frac{1}{s'}$ einzuführen ist. Es sei in Zukunft diese Größe als Brillenscheitelrefraktion

$$A_s = \frac{1}{s'}$$

bezeichnet.

§ 16. Die Bildgröße beim brillenbewaffneten Auge. Von Wichtigkeit ist neben der Deutlichkeit auch noch die Größe des Bildes β, in der ein gegebenes Objekt α auf der Netzhaut wiedergegeben wird. Sind a und b die reduzierten konjugierten Abstände von den Hauptpunkten und

$$A = \frac{1}{a}; \; B = \frac{1}{b}$$

die reduzierten Konvergenzen, so besteht die Beziehung

$$\alpha A = \beta B \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dabei ist, wenn, wie hier, die Luft als das Objektmedium angenommen wird, αA der numerische Wert der trigonometrischen Tangente, also bei den im paraxialen Raum auftretenden Neigungswinkeln auch des Strahl-Achsenwinkels w im objektseitigen Hauptpunkt. Handelt es sich bei den korrigierenden Brillen um unendlich ferne Objekte, so kann die Größe des Objekts nur durch den Winkel w angegeben werden, unter dem es dem Beobachter erscheint, und die obige Beziehung geht über in

$$w = \frac{\beta}{\mathbf{f}}; \qquad \beta = \mathbf{f}w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Man sieht also ein, daß es hier darauf ankommen wird, die Brennweite $\mathbf{f}_{12}$ für das aus Korrektionsglas und Auge zusammengesetzte System zu ermitteln. Dieselbe Überlegung gilt übrigens bei der beschränkten Genauigkeit, mit der die Augenkonstanten bestimmt werden können, auch dann, wenn a nur ein großes Vielfaches von $\mathbf{f}_{12}$ ist, so daß auch dann gesetzt werden kann

$$B = \frac{1}{\mathbf{f}_{12}}.$$

Für die folgende Untersuchung sollen zunächst nur achsenametropische Augen berücksichtigt werden, d. h. es wird angenommen, daß das brechende System des Auges immer die gleichen Werte habe und zwar die, die A. Gullstrand (*S.*) für sein exaktes schematisches Auge ermittelt hat

$$D_{11} = 58{,}64 \text{ dptr} = \frac{1}{0{,}017055 \text{ m}},$$

$$n = 1{,}336,$$

der Ort des ersten Hauptpunkts **H** gemessen vom Hornhautscheitel:

1,348 mm,

der Ort des zweiten Hauptpunkts **H'** gemessen vom Hornhautscheitel:

1,602 mm.

Aus den Formeln der Dioptrienrechnung sei der Ausdruck für die Brechkraft D_{12} des aus den Einzelsystemen der Brechkraft D_1 und D_{11} zusammengesetzten Systems entnommen;

$$D_{12} = D_1 + D_{11} - \delta D_1 D_{11} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

wo D_1 die Brechkraft des korrigierenden, im Folgenden als verschwindend dünn angenommenen Brillenglases in Dioptrien ist und δ der auf Luft bezogene Abstand zwischen dem zweiten Hauptpunkt von D_1 und dem ersten von D_{11}. Die Hauptpunktsabstände des zusammengesetzten Systems ergeben sich zu

$$\mathbf{H}'_{12} = \frac{\delta D_{11}}{D_{12}}; \quad n\,\mathbf{H}''_{12} = -\frac{n\delta D_1}{D_{12}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

wobei $\mathbf{H}'$ vom ersten Hauptpunkt des ersten zum ersten des zusammengesetzten,

und $\mathbf{H}''$ » zweiten » » zweiten » zweiten » zusammengesetzten

Systems gerechnet ist.

Fordert man, daß das zusammengesetzte System von gleicher Brechkraft sei wie D_{11}, so ergibt sich aus (4) ohne weiteres die Bedingungsgleichung

$$D_1 (1 - \delta D_{11}) = 0,$$

was bei einem korrigierenden Brillenglase, das selbstverständlich nicht von verschwindender Brechkraft ist, auf

$$\delta = \frac{1}{D_{11}} = \mathbf{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

führt, und das läßt sich in folgender Weise ausdrücken. Das optische System des mit einem Brillenglase bewaffneten, achsenametropischen Auges hat stets die gleiche Brechkraft wie im normalen, emmetropen Auge, wenn der hintere Hauptpunkt H' des Brillenglases mit dem vorderen Augenbrennpunkte $\mathbf{F}$ zusammenfällt.

Nach den Gullstrandschen Werten ist

$$\delta = 17{,}055 \text{ mm},$$

und der Abstand des hinteren Hauptpunktes H' der Brille vom Hornhautscheitel

$$H'\mathbf{S} = (17{,}055 - 1{,}348) \text{ mm} = 15{,}707 \text{ mm}$$

zu setzen.

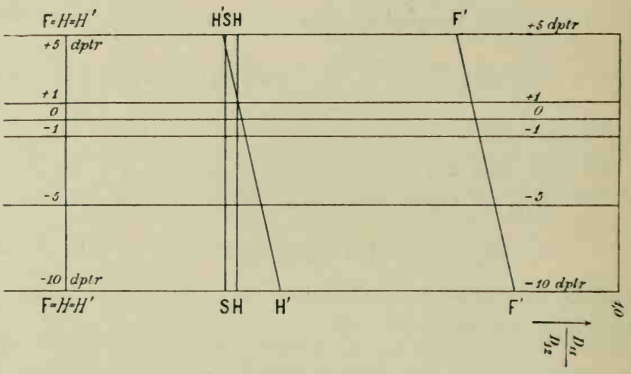
Für die Hauptpunktsabstände ergeben sich aus (5) die Beziehungen

$$\mathbf{H}'_{12} = \delta; \qquad n\mathbf{H}''_{12} = -\frac{n\delta D_1}{D_{11}} \begin{cases} < 0 \text{ für } D_1 > 0 \\ > 0 \text{ » } D_1 < 0, \end{cases}$$

woraus sich zunächst ergibt, daß der erste Hauptpunkt $\mathbf{H}$ stets die gleiche Entfernung von dem ersten Brillenhauptpunkte einnimmt. In dem hier behandelten Falle dünner Brillen bleibt er also unverändert 1,348 mm hinter dem Hornhautscheitel. Der zweite Hauptpunkt des zusammengesetzten Systems entfernt sich dagegen der Brechkraft des Brillenglases

entsprechend vom zweiten Hauptpunkt des Auges und zwar nach vorn für Sammel-, nach hinten für Zerstreuungsgläser. Da die Brennweite konstant bleibt, so liegt er in verschiedenen korrigierten achsenametropischen Augen immer in einer und derselben Entfernung f′ von der Netzhaut, und es wird somit die Achsenametropie ganz und gar durch diese Verschiebung des zweiten Hauptpunkts ausgeglichen.

Fig. 4.



Ein Diagramm für die Lage der Kardinalpunkte des aus Vollauge und Brillenglas (von m dptr) gebildeten Systems

$H'S = 15{,}707$ mm; $5 \geqq m \geqq -10$.

Die Figur 4 wird diese Verhältnisse für die Brillengläser zwischen -10 und $+5$ dptr verdeutlichen.

§ 17. Es kann aber nicht vorausgesetzt werden, daß diese Annahme (das dünne Brillenglas stehe im vorderen Augenbrennpunkte) durchweg verwirklicht wäre. Die Betrachtung ist also noch dadurch zu vervollständigen, daß auch abweichende Stellungen des dünnen Brillenglases berücksichtigt werden.

1. Das Brillenglas stehe dem Auge näher, doch kann es selbstverständlich den Hornhautscheitel nicht erreichen; es sei also

$$1{,}348 \text{ mm} < \delta < 17{,}055 \text{ mm}$$

dann ist

$$D_1 (1 - \delta D_{11}) = D_1 \omega^2,$$

wobei durch die Bezeichnung ω^2 veranschaulicht werden soll, daß es sich um eine positive Größe handele.

$$D_{11} + D_1 \omega^2 = D_{12} \quad \begin{cases} > D_{11} & \text{für } D_1 > 0 \\ < D_{11} & \text{» } D_1 < 0 \end{cases}$$

$$\frac{\delta D_{11}}{D_{11} + D_1 \omega^2} = \frac{\delta}{1 + \frac{D_1}{D_{11}} \omega^2} = \mathbf{H}'_{12} \begin{cases} < \delta & \text{für } D_1 > 0 \\ > \delta & \text{» } D_1 < 0 \end{cases}$$

$$- \frac{n \delta D_1}{D_{11} + D_1 \omega^2} = \mathbf{H}''_{12} \begin{cases} < 0 & \text{für } D_1 > 0 \\ > 0 & \text{» } D_1 < 0. \end{cases}$$

2. Das Brillenglas stehe dem Auge ferner; es sei also

$$\delta > 17{,}055 \text{ mm}$$

dann ist

$$D_1 (1 - \delta D_{11}) = - D_1 \omega^2,$$

wobei mit dem entsprechenden Mittel ausgedrückt wird, daß es sich um eine negative Größe handelt.

$$D_{11} - D_1 \omega^2 = D_{12} \begin{cases} < D_{11} & \text{für } D_1 > 0 \\ > D_{11} & \text{» } D_1 < 0 \end{cases}$$

$$\frac{\delta D_{11}}{D_{11} - D_1 \omega^2} = \frac{\delta}{1 - \frac{D_1}{D_{11}} \omega^2} = \mathbf{H}'_{12} \begin{cases} > \delta & \text{für } D_1 > 0 \\ < \delta & \text{» } D_1 < 0 \end{cases}$$

$$- \frac{n \delta D_1}{D_{11} - D_1 \omega^2} = \mathbf{H}''_{12} \begin{cases} < 0 & \text{für } D_1 > 0 \\ > 0 & \text{» } D_1 < 0 \end{cases}$$

Diese Ausdrücke lassen sich kurz so beschreiben. Ist der Abstand δ zwischen Brillenglas und vorderem Hauptpunkt des Auges kleiner (größer) als die vordere Augenbrennweite, so ist die Brechkraft des Gesamtsystems größer (kleiner) als die des optischen Systems im unbewaffneten Auge, wenn es sich um Sammellinsen und kleiner (größer), wenn es sich um Zerstreuungslinsen handelt. Die Verschiebung des vorderen Hauptpunkts bei kleinerem (größerem) δ erfolgt nach vorn (hinten) für Sammellinsen und nach hinten (vorn) für Zerstreuungslinsen. Der hintere Hauptpunkt des Gesamtsystems wandert in allen drei Fällen nach vorn bei Sammel- und nach hinten bei Zerstreuungslinsen, und die drei Fälle unterscheiden sich hierbei nur durch den Betrag der Verschiebung voneinander.

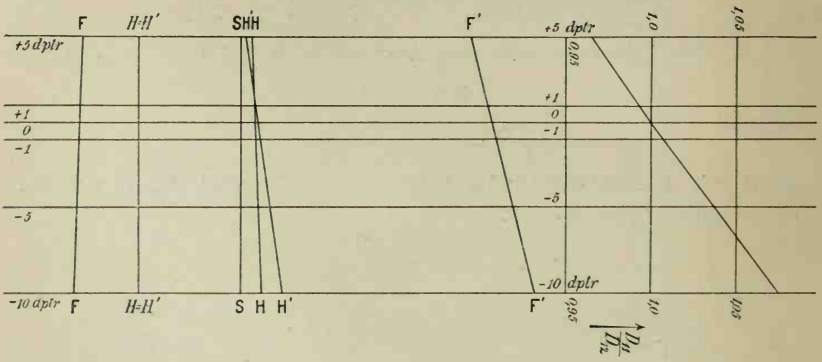
Die beiden graphischen Darstellungen 5 und 6, die die gleichweit vom ersten, normalen abstehenden Fälle für $\delta = 10$ und $\delta = 24{,}12$ mm, mithin $H'\mathbf{S}$ beziehentlich $(10{,}0 - 1{,}348)$ mm und $(24{,}12 - 1{,}348)$ mm erläutern, lassen das Bestehen der soeben ausgesprochenen Regeln erkennen und zeigen sehr deutlich, in wie verschiedener Weise die Achsenametropien ausgeglichen werden. Man sieht sodann, daß mit einer ziemlich großen Genauigkeit angenommen werden kann, der Hornhautabstand von $\mathbf{F}$, dem vorderen Brennpunkt des zusammengesetzten Systems, sei stets derselbe wie beim unbewaffneten Auge.

Den Darstellungen ist an der rechten Seite noch ein Diagramm für

$$\frac{D_{11}}{D_{12}} = \frac{\mathbf{f}_{12}}{\mathbf{f}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

beigegeben, womit nach (3) der Quotient der Bildgrößen auf der Netzhaut des emmetropen und des korrigierten Auges identisch ist, wenn es sich

Fig. 5.

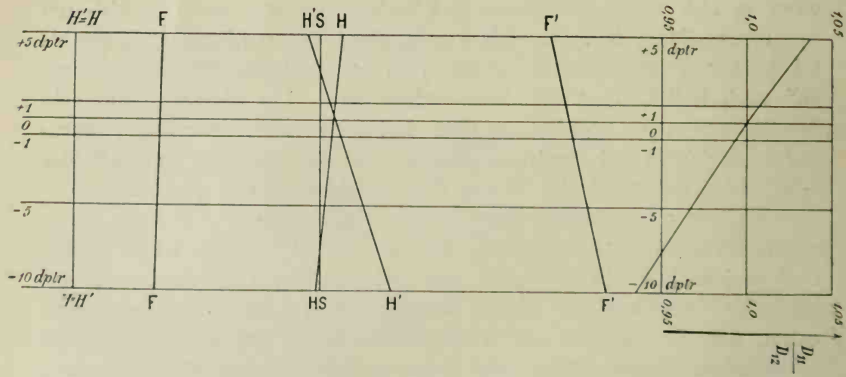


Ein Diagramm für die Lage der Kardinalpunkte des aus Vollauge und Brillenglas (von m dptr) gebildeten Systems

$H'S = 8{,}652$ mm; $5 \geqq m \geqq -10$.

um genügend weit entfernte Objekte handelt. Es zeigt sich, daß eine Annäherung oder Entfernung des Brillenglases die Größe des Netzhautbildes

Fig. 6.



Ein Diagramm für die Lage der Kardinalpunkte des aus Vollauge und Brillenglas (von m dptr) gebildeten Systems

$H'S = 22{,}772$ mm; $5 \geqq m \geqq -10$.

bei Sammellinsen gerade umgekehrt beeinflußt wie bei Zerstreuungslinsen. Man kann den Figuren 5 und 6 natürlich auch die Beträge der oben angeführten Brennweitenänderungen entnehmen.

§ 18. Mit dieser Feststellung der Konstanten des durch ein Brillenglas korrigierten achsenametropischen Auges ist der Weg gezeigt, den man auch bei Augen mit Krümmungs- und Indexametropien einschlagen könnte, doch ist nicht beabsichtigt, hier näher auf diesen Gegenstand einzugehen. Nur der Fall soll kurz behandelt werden, wo es sich um die Korrektion aphakischer Augen durch Starbrillen handelt.

Setzt man hier wieder nach A. Gullstrand (*8.*) voraus

$$D_{11} = 43{,}05 \text{ dptr}$$

und nimmt man ferner beispielsweise an

$$\delta = 12{,}05 \text{ mm},$$

so ergibt sich mittels einer dem Falle $\delta = 10$ mm ganz entsprechenden Rechnung für

$D_1 =$	+ 15	+ 10	+ 5	0	− 5 dptr
$SH' =$	− 4,855	− 3,416	− 1,822	− 0,051	+ 1,930 mm
$SF' =$	21,721	24,483	27,571	30,978	34,807 mm
$\frac{58{,}64}{D_{12}} =$	1,17	1,23	1,29	1,36	1,44

Der einzige Unterschied gegen jenen Fall liegt bei der Berechnung der Bildgröße vor, wobei an Stelle von $D_{11} = 43{,}05$ dptr die Brechkraft des optischen Systems im normalen emmetropischen Auge eingesetzt wird.

Es steht mit diesem Ergebnis in guter Übereinstimmung, daß nicht selten nach Extraktion der Kristallinse des Auges eine Erhöhung der Sehschärfe festgestellt werden konnte. Man müßte nach der vorstehenden Überlegung einen um so größeren Vorteil dieser Operation erwarten, je stärker die Achsenverlängerung bei dem betreffenden Auge ist.

Eine andere, sehr elegante Methode zur Vergleichung der Netzhautbildgröße im aphakischen Auge mit der Bildgröße im Vollauge hat K. Bjerke (*1. 2.*) schon 1902/03 angegeben. Er geht davon aus, daß die Strahl-Achsenwinkel ω, im optischen Zentrum der Kristallinse durch die Operation nicht geändert werden. Der scheinbare Ort dieses Punktes liegt 5,4 mm vom Hornhautscheitel entfernt. Während also der Verlauf der zu diesem Punkte gehörigen Strahlen im Bildraume ungeändert bleibt, sind die Neigungswinkel im Raume des entfernten Objekts für das Vollauge und für das brillenbewaffnete linsenlose Auge ganz verschieden.

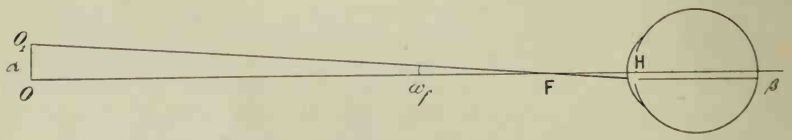
Die Berechnung der Bildgröße bei brillenbewaffneten akkommodierenden Augen soll hier nicht vorgenommen werden. Sie kann nach den vorhandenen Formeln erfolgen, wenn man eine Annahme über die

Verschiebung der Hauptpunkte bei der Akkommodation macht. In der Regel — man sehe z. B. bei C. Hess (*1. 182*; *2. 202.*) — wird diese Verschiebung vernachlässigt. Doch sei auch auf S. 23 verwiesen.

Die Wirkung der Brille auf die Akkommodationsbreite und die Schärfentiefe ist bereits an anderen Stellen — man sehe z. B. bei M. von Rohr (*5. 324—326.*) — eingehend behandelt worden, so daß es hier mit diesem Hinweise auf die Ableitung sein Bewenden haben kann. Die allgemeine Angabe des Ergebnisses mag genügen, daß dünne Konvexlinsen die Akkommodationsbreite verkleinern, dünne Konkavlinsen sie vergrößern, und daß auch der Einfluß dieser beiden Brillenarten auf die Ausdehnung der Schärfentiefe in demselben Sinne wirkt.

§ 19. Die Sehschärfe. Handelt es sich nur darum, die Sehschärfe des Auges festzustellen, so ist dafür auf die scharfe Unterscheidung hinzuweisen, die auf A. Gullstrand (*9. 313—314.*) zurückgeht. Einmal will man durch die Angabe dieser Größe die Funktionstüchtigkeit der Netzhaut messen,

Fig. 7.



Der Fokalpunktswinkel ω_f zur Bestimmung der absoluten Sehschärfe S.

und dafür muß eine Methode angewandt werden, die einen Vergleich der Größe des Netzhautbildes in verschiedenen Augen gestattet. Ferner aber soll durch die Angabe der Sehschärfe auch die Funktionstüchtigkeit des gerade vorliegenden Auges gemessen werden, und die Methode muß darum von seinem Akkommodationszustande unabhängig sein.

Was die erste Methode angeht (Fig. 7), so empfiehlt sich die Bestimmung der Gesichtswinkel am vorderen Augenbrennpunkt **F**, worauf der O_1 **F** im Innern des Glaskörpers entsprechende Strahl achsenparallel (im telezentrischen Strahlengange) verläuft. Bei fernen Objekten und emmetropen Augen mit erschlaffter Akkommodation ergibt sich für die kleinen, hier in Betracht kommenden Winkel, bei denen man die Tangente gleich dem Winkel setzen kann, ohne weiteres nach (3)

$$\omega_f = \frac{\beta}{\mathrm{f}} = \beta D.$$

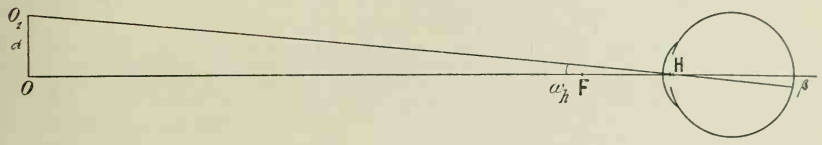
Die diesem Winkel ω_f umgekehrt proportionale Sehschärfe heißt aus dem

oben angegebenen Grunde die absolute Sehschärfe S. Sie wurde von F. C. Donders (*1. 164—166.*) eingeführt und sei geschrieben

$$S = \frac{c}{\omega_f}\ ^{1}).$$

Für die Bestimmung der Funktionstüchtigkeit des gerade vorliegenden Auges wählt man (Fig. 8) zweckmäßig den Winkel ω_h am vorderen Augenhauptpunkt **H**, und zwar eignet sich dieser darum so gut für den hier

Fig. 8.



Der Hauptpunktswinkel ω_h zur Bestimmung der natürlichen Sehschärfe S_n.

verfolgten Zweck, weil die kleine Verschiebung[2]) des hinteren Hauptpunkts bei der Akkommodation für die hier erreichbare Genauigkeit vernachlässigt werden kann. Läßt man demnach diese Vernachlässigung zu, so ist die Bildgröße auf der Netzhaut gegeben durch

---

1) Prinzipiell kann die Berechnung der Proportionalitätskonstante c erfolgen, wenn der Winkel $\bar{\omega}$ bestimmt wird, der dem Normalwert der absoluten Sehschärfe $S = 1$ entspricht. Offenbar wird dann

$$c = S\omega_f = \bar{\omega}.$$

Setzt man nach C. Hess (*3. 15.*) für die Landoltschen Ringe auf der Sehprobentafel der Internationalen Kommission

$$\bar{\omega} = 1',$$

so folgt

$$c = 0{,}000291.$$

In der Praxis aber geht man so nicht vor, sondern bildet

$$S = \frac{\bar{\omega}}{\omega_f},$$

wonach sich dann der Wert der Sehschärfe bei gleicher Schriftprobe als Quotient der (genügend großen) Abstände $\bar{a}$, a zu

$$S = \frac{a}{\bar{a}}$$

oder bei gleichem Abstande als Quotient der Dimensionen $\bar{p}$, p der Schriftproben zu

$$S = \frac{\bar{p}}{p}$$

ergibt.

2) Nach den Werten für das Gullstrandsche exakte schematische Auge beträgt diese Verschiebung bei einer Akkommodationsbreite von 10,6 dptr

$$(2{,}086 - 1{,}602)\ \text{mm} = 0{,}484\ \text{mm}.$$

$$\beta = \mathfrak{b}\,\omega_h = \frac{\omega_h}{B},$$

wo $\mathfrak{b}$ die reduzierte Konjugatbrennweite ist. Die durch diesen Hauptpunktswinkel bestimmte Sehschärfe nennt man nach A. Gullstrand (*9. 313.*) die natürliche Sehschärfe S_n, und es ist

$$S_n = \frac{c}{\omega_h},$$

mithin

$$\frac{S}{S_n} = \frac{\omega_h}{\omega_f} = \frac{B}{D} = 1 + \frac{A}{D}.$$

Man sieht ein, daß bei emmetropen Augen und entspannter Akkommodation die natürliche mit der absoluten Sehschärfe zusammenfällt, weil hier gilt

$$A = 0.$$

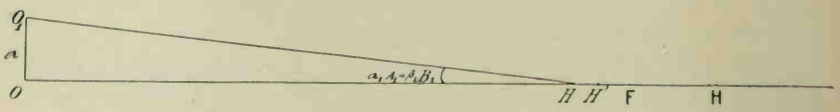
Handelt es sich aber um ametrope Augen, so ergeben diese beiden Bestimmungen der Sehschärfe verschiedene Werte.

Um für die absolute Sehschärfe, also bei telezentrischem Strahlengange im Glaskörper, eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut des untersuchten Auges zu erhalten, wird ein Brillenglas von der Brechkraft D_1 so eingeschaltet, daß der Augenbrennpunkt **F** mit dem hinteren Hauptpunkte H' des Brillenglases zusammenfällt. Alsdann ergibt sich ohne Rücksicht auf den Abstand des Objekts von der Brille wiederum bei achsenametropischen Augen

$$\omega_f = \frac{\beta}{\mathfrak{f}} = \beta D,$$

wobei natürlich ω_f mittels der Entfernung des Objekts von dem vorderen Hauptpunkte H der Brille bestimmt werden muß. Es ist also bei achsenametropischen Augen der Fokalpunktswinkel ω_f direkt ein Maß der Netzhautbildgröße.

Fig. 9.



Der Winkel $\alpha_1 A_1 = \beta_1 B_1$ im vorderen Brillenhauptpunkte H zur Bestimmung der relativen Sehschärfe S_r. $H'\mathbf{F} = \delta_f$.

Fällt aber wie in Figur 9 der Augenbrennpunkt **F** nicht mit H' zusammen, sondern besteht die Beziehung

$$H'\mathbf{F} = \delta_f,$$

so ist verständlicherweise ω_f nicht mehr mit dem wiederum im vorderen Hauptpunkt des Brillenglases gemessenen Winkel

$$\frac{\alpha_1}{H\,O} = \frac{\beta_1}{H'\,O'}$$

identisch. Die mit diesem Winkel bestimmte Sehschärfe weicht also von der absoluten ab, und sie soll nach A. Gullstrand (*9. 314.*) als relative Sehschärfe S_r eingeführt werden. Dann gilt

$$\frac{S_r}{S} = \frac{H'\,O'}{\beta_1}\,\omega_f = \frac{H'\,O'}{\mathbf{F}\,O'} = \frac{H'\,\mathbf{F} + \mathbf{F}\,O'}{\mathbf{F}\,O'} = \frac{\delta_f}{\mathbf{F}O'} + 1.$$

Setzt man nun analog der früheren Bezeichnung

$$\frac{1}{\mathbf{F}O'} = L,$$

wobei L die im vorderen Augenbrennpunkt gemessene Konvergenz (den für den vorderen Brennpunkt geltenden Korrektionswert der Ametropie) bedeutet, so erhält man

$$S_r = S\,(1 + \delta_f L).$$

Man sieht auch aus dieser Formel ein, daß bei nicht akkommodierenden Augen und bei

$$\delta_f = O$$

die relative Sehschärfe gleich der absoluten wird, und man bestimmt daher bei der Sehschärfenprüfung die absolute Sehschärfe mit Hilfe der die Akkommodation aufhebenden Brille. Das geschieht, indem man für einen großen Abstand der Sehproben das stärkste positive oder das schwächste negative Glas aussucht, mit dem das Auge seine maximale Sehschärfe erreicht.

Was nun die natürliche Sehschärfe angeht, so ist hier der Winkel ω_h am vorderen Augenhauptpunkte einzuführen, und es ergibt sich unter Benutzung der allgemein bereits eingeführten Bezeichnung

$$\delta = H'\,\mathbf{H}$$

ganz analog der vorhergehenden Ableitung

$$\frac{S_r}{S_n} = \frac{H'\,O'}{\beta_1}\,\omega_h = \frac{H'\,O'}{\mathbf{H}\,O'} = \frac{H'\,\mathbf{H} + \mathbf{H}\,O'}{\mathbf{H}\,O'} = \delta A + 1$$

und somit

$$S_r = S_n\,(1 + \delta A).$$

Sehr einfach erhält man umgekehrt die natürliche aus der relativen Sehschärfe, wenn man einen großen Objektabstand voraussetzt. Dann fällt nämlich für das Brillenglas O' mit dem hinteren Brennpunkt F' zusammen, und man erhält leicht

$$\frac{S_n}{S_r} = \frac{\mathbf{H}F'}{H'F'} = \frac{-H'\,\mathbf{H} + H'F'}{H'F'} = 1 - \delta D_1$$

$$S_n = S_r\,(1 - \delta D_1).$$

Man wäre übrigens auch direkt auf diese Formel gekommen, wenn man gezeigt hätte, daß unter der obigen Voraussetzung der Winkel $\frac{\beta_1}{H'F'}$ durch Division mit $1 - \delta D_1$ zu ω_h würde.

Man bekommt somit die von A. Gullstrand *9. 315.* angegebene Regel: »Wenn δ in Zentimetern gemessen wird, so erhält man die natürliche Sehschärfe allgemein aus der bei großem Objektabstande ermittelten relativen Sehschärfe durch Abziehen von δ % für jede Dioptrie des angewendeten Glases, wobei es gleichgültig ist, ob das Auge akkommodiert oder nicht«.

Setzt man ein akkommodationsloses Auge und $\delta = 1{,}706$ cm voraus, so wird S_r zu S. Um für diesen Fall eine deutliche Vorstellung von dem Größenverhältnis zwischen S und S_n zu erhalten, sei der Faktor $1 - 0{,}01706 D_1$ ausgewertet; es ist dann der hintere Hauptpunkt des korrigierenden Brillenglases etwa um 16 mm vom Hornhautscheitel S entfernt. Man erhält dann die folgende Tabelle

$D_1 = \frac{1}{f_1} =$	+6	+4	+2	−2	−4	−6	−8	−10	−12	−14	−16	−18	−20 dptr
$1 - 0{,}01706 D_1 =$	0,90	0,93	0,97	1,03	1,07	1,10	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27	1,31	1,34

und man ersieht daraus, daß der Faktor $1 - \delta D_1$ nur dann von Bedeutung wird, wenn es sich um Brillengläser von höherer Brechkraft handelt.

§ 20. **Die Presbyopen- und die Lupenbrillen.** Eine weitere Anomalie ist der Zustand der Alterssichtigkeit oder der Presbyopie. Dabei wird infolge abnehmender Formveränderlichkeit der Kristallinse die Akkommodation eingeschränkt und schließlich ganz aufgehoben. Unter einem presbyopischen Auge versteht man des Näheren ein solches Auge, wo der Nahepunkt eine weitere Entfernung angenommen hat als 22 cm. Für die Abnahme der Akkommodationsbreite kann man folgende schematische Werte ansetzen:

im Alter von	40	50	60 Jahren
besteht noch eine Akkommodationsbreite von	3,5	2	1 dptr.

Die mit der Verminderung der Akkommodation verbundene Verschiebung des Nahepunkts macht es für Presbyope in der Regel notwendig, ein Brillenglas zu tragen, das als Presbyopenbrille bezeichnet werden soll.

Die Brechkraft D_1, die der Ophthalmologe dafür vorschreiben muß, richtet sich nach der Brechkraft des optischen Systems des damit zu bewaffnenden Auges und der bei der Naharbeit noch anzuwendenden Akkommodation. Mithin gehören hierunter nicht nur die Nahbrillen für Ametrope sondern auch die Arbeitsbrillen für presbyop gewordene Emmetrope, da beim Gebrauch der Presbyopenbrillen fast immer akkommodiert werden soll.

Es wird sich also darum handeln, aus der von dem verordnenden Ophthalmologen angegebenen Bildentfernung b und der, ebenfalls in m gemessenen Objektentfernung $-a$

$$0{,}2 \text{ m} < a < 0{,}5 \text{ m}$$

die Brechkraft D_1 der Presbyopenbrille zu bestimmen. Sie ergibt sich unter Berücksichtigung des soeben herausgehobenen Minuszeichens zu

$$D_1 = A + B$$

und man sieht ein, daß D_1 von positivem Zeichen ist, wenn es sich bei Emmetropen von 60 Jahren und darunter noch um einen Nahepunktsabstand $-b$ handelt, wo

$$b > a$$

gilt. Bei Myopen wird das Vorzeichen von D_1 je nach der Größe der Ametropie auch negativ ausfallen können.

Soll nunmehr die Vergrößerung bestimmt werden, die eine solche Presbyopenbrille von der Brechkraft D_1 dem Auge leistet, so wird man nach A. Gullstrand (*9. 310.*) sich des Hauptpunktswinkels ω_h bedienen, und es gilt

$$-\frac{\omega_h}{\alpha_1} = D_1 - A(1 - \delta D_1);$$

dabei bezieht sich A auf das dem Auge dargebotene Bild. Stellt man diese Formel etwa für zwei verschiedene Brillengläser auf, die zwar verschieden weit vom Auge entfernt sind, aber dasselbe und am gleichen Ort befindliche Objekt in derselben Entfernung vom Auge abbilden, so läßt sich durch Division beider Ausdrücke das Verhältnis der Vergrößerungen feststellen, die sie dem Auge gewähren.

Handelt es sich aber um den Fall, daß bei weiter Entfernung des Fernpunktes die Akkommodation vollständig aufgehört hat, und solche Fälle werden in der Praxis bei Emmetropen im Alter von mehr als 70 Jahren und bei gewissen Staroperierten vorkommen, so ergibt sich für Objekte in der Entfernung a aus der Forderung, das von der Brille entworfene Bild solle in den unendlich entfernten Fernpunkt fallen, das Vorzeichen der Brennweite als positiv und nach (3), wenn man berücksichtigt, daß hier die weite Entfernung für das Bild gilt, die Gleichung

$$-w' = \frac{\alpha}{f_1}; \quad -\frac{w'}{\alpha} = \frac{1}{f_1} = D_1.$$

Man erkennt also, daß der Gesichtswinkel w', unter dem ein kleines Objekt α dem greisenhaften emmetropen Auge erscheint, in derselben Weise von der Brechkraft des Brillenglases abhängt, wie er sich bei der Verwendung einer Lupe ergeben würde. Aus diesem Grunde seien so benutzte Brillengläser als Lupenbrillen bezeichnet.

In diesem Falle eines greisenhaften Emmetropen ist es übersichtlicher, nicht die Kardinalpunkte des aus Brillenglas und Auge zusammengesetzten Systems aufzusuchen, sondern allein die Wirkung des Brillenglases zu betrachten. Da das Bild im Unendlichen entworfen wird, so hat die Wahl eines bestimmten Abstandes δ auf die Größe von w' keinen Einfluß; wenn man aber auch bei einer Lupenbrille die Einhaltung eines vorgeschriebenen Abstandes von dem Hornhautscheitel fordert, so liegen die Gründe dafür anderswo, nämlich in der Berücksichtigung des Sehens mit bewegtem Auge.

Als Brechkraft der Lupenbrille ergibt sich der obigen Ungleichung entsprechend

$$5 \text{ dptr} \geqq D_1 \geqq 2 \text{ dptr},$$

doch liegt auf der vorliegenden Stufe der Untersuchung kein Grund vor, die Reihe gerade bei + 5 dptr abzubrechen. Gibt man aber diese Einschränkung auf, so führt die Reihe stetig zu den eigentlichen Lupen hinüber.

§ 21. **Die Bestimmung des korrigierenden Brillenglases.** Es folgt aus dem eingeschalteten Abschnitte über die Verbindung des ruhenden Auges mit der Brille, daß die Radien des Brillenglases in den Formeln überhaupt nicht auftraten, sondern nur seine Brechkraft D_1 und (bei merklicher Dicke) seine Schnittweite s'.

Da die chromatischen Differenzen vorläufig außer Betracht bleiben, so wird das Glasmaterial durch einen einzigen Brechungsexponenten n genügend gekennzeichnet, und dafür gilt etwa

$$1{,}51 \leqq n \leqq 1{,}54,$$

denn in der Tat werden die meisten Brillengläser aus Glasarten dieser Beschaffenheit hergestellt. Höhere Brechungsindizes — z. B. 1,58 — kommen zwar auch vor, sind aber ziemlich selten. Sie gestatten, verglichen mit den ersterwähnten, etwas geringere Krümmungen bei gleicher Brechkraft, doch ergibt sich im allgemeinen kein merklicher Vorteil.

Die Krümmungen werden, wie schon bemerkt, so gewählt, daß sich eine bestimmte Schnittweite s' ergibt, wie sie durch den Refraktionszustand A des Auges und die Entfernung δ gefordert wird. Ist nach (1)

$$s' = \delta + a,$$

so ergibt sich für die Schnittweite s', die beiden Radien r_1 r_2, den Brechungsexponenten n und die Glasdicke d der folgende Zusammenhang

$$s' = \frac{1}{D_1} + H'' = \frac{1}{D_1} - \frac{\delta D'}{D_1}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{D_1}{1 - \delta D'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

indem

$$\delta = \frac{d}{n}$$

die reduzierte Glasdicke,

$$D' = \frac{n-1}{r_1}, \qquad D'' = \frac{1-n}{r_2}$$

die Brechkraft der ersten und der zweiten Grenzfläche, D_1 die Brechkraft der Brille darstellen und außerdem nach (4) und (5)

$$D_1 = D' + D'' - \delta D' D''; \qquad H'' = -\frac{\delta D'}{D_1}$$

gilt.

Als Einheit der Brechkraft dient jetzt allgemein die Dioptrie, deren ganz allgemeine Definition nach dem Vorgange von A. Gullstrand (*2. 66.*) in der folgenden Weise zu geben ist. »Die Dioptrie ist die Einheit des reziproken Wertes einer durch Division mit dem betreffenden Brechungsindex reduzierten, in Meter gemessenen Haupt- oder Konjugatbrennweite.«

In früheren Jahren wurden die Linsen verschiedener Brechkraft durch Nummern bezeichnet, die in Zollen die Länge des Radius angaben, der unter Verwendung eines Brechungsexponenten von 1,5 für eine gleichseitige Linse dieser Brennweite verwendet werden mußte.

Für die Umrechnung des einen Systems in das andere kann man — s. z. B. M. von Rohr (*4. 327.*) — die Näherungsformel für die Maßzahlen $\mathfrak{M}$ angeben

$$\mathfrak{M}_{\text{dptr}} = \frac{40{,}4}{\mathfrak{M}_{\text{zoll}}},$$

wobei allerdings die Zahl 40,4 für den Brechungsexponenten von 1,528 und Rheinländische (preußische) Zolle zu 26,15 mm gilt.

Geht man auf die Formel (1) zurück, und führt man die Glasdicke d nicht als eine willkürlich zu wählende Variable ein, sondern beschränkt man ihren Betrag so sehr als möglich, d appr $= 0$, so sieht man leicht ein, daß man entsprechend (8) und (4) nur die Brechkraftsumme der beiden Flächen erhält, wenn man die Schnittweite s' des Glases vorschreibt. Man kann dann noch über einen Radius, etwa den ersten, frei verfügen. Eine solche Änderung der Form des Brillenglases, wobei die Brechkraftsumme der beiden Flächen unverändert bleibt, bezeichnet man mit dem bereits auf S. 11 vorausgenommenen Fachausdruck Durchbiegen.

§ 22. **Die Bestimmung der Brechkraft eines vorliegenden Brillenglases.** Da nach dem vorigen die Brechkraft einer dünnen Linse gegeben ist durch

$$D_1 = D' + D'' = \frac{n-1}{r_1} + \frac{1-n}{r_2},$$

so kann man, an dieser Annahme festhaltend, in gebräuchlicher Weise mit einem Sphärometer oder Taster die Brechkraft der Grenzflächen bestimmen und daraus die Gesamtbrechkraft ermitteln. Dabei muß aber die Voraussetzung gemacht werden, daß der Brechungsexponent n eine bekannte Größe sei. Das Sphärometer kann ja nur den Wert von r oder den von $1/r$ angeben und zwar dadurch, daß an einer vorliegenden Kugelfläche die Pfeilhöhe durch Tasten bestimmt wird, die zum Durchmesser des Sphärometerkreises gehört. Das Sphärometer mißt also die Krümmung $1/r$, und man kann seine Skala nur dann mit den Dioptrienwerten der Brechkraft

$$D' = \frac{n-1}{r_1}; \qquad D'' = \frac{1-n}{r_2}$$

beziffern, wenn man für n einen bestimmten Wert einsetzt. Dieser Wert sollte als eine der Konstanten auf dem Sphärometer angegeben sein.

Hat das abgetastete Glas aber einen Brechungsexponenten n_1, so gilt für die beiden Flächen

$$D' = \frac{n_1-1}{r_1}; \qquad D'' = \frac{1-n_1}{r_2},$$

und bezeichnet man die am Sphärometer abgelesenen, zu einem nicht zutreffenden Brechungsexponenten gehörigen Zahlen mit $\bar{D}'$, $\bar{D}''$, so ergibt sich leicht

$$D' = \frac{n_1-1}{n-1}\bar{D}'; \qquad D'' = \frac{1-n_1}{1-n}\bar{D}'',$$

und man erhält für das ganze Brillenglas die Brechkraft

$$D_1 = \frac{n_1-1}{n-1}\bar{D}_1.$$

Setzt man beispielsweise

$$n = 1{,}54; \qquad n_1 = 1{,}52,$$

so ist

$$\frac{n-1}{n_1-1} = \frac{0{,}54}{0{,}52} = 1{,}038,$$

und man erhält, wenn ein Glas aus dem Medium von 1,52 und einer Brechkraft von $\pm$ 6 dptr vorliegt, durch Tasten mit einem Sphärometer, das für ein Material von 1,54 bestimmt ist, den unrichtigen Wert

$$\bar{D}_1 = \pm 6^1/_4 \text{ dptr}.$$

Ein anderes Verfahren, die Brechkraft eines Glases zu bestimmen, kann eingeschlagen werden, wenn man im Besitze eines Brillenkastens mit einer genügenden Anzahl von zuverlässig bezeichneten Bestandteilen ist. Hat man ein Probierglas D_1 gefunden, das, dicht vor das unbekannte mit D_x gehalten, eine Kombination von verschwindender Brechkraft ergibt (wo keine Parallaxe

eines durch die Kombination gesehenen Gegenstandes durch seitliche Verschiebung der Kombination bedingt wird), so findet sich nach (4) auf S. 13

$$0 = D_1 + D_x - \delta_{1x} D_1 D_x,$$

und man erhält die einfache Beziehung

$$D_x = - D_1,$$

wenn man die Annahme macht

$$\delta_{1x} = 0.$$

Eine solche Annahme führt bei schwachen Gläsern zu befriedigenden Ergebnissen, erlaubt aber die Bestimmung von starken nur mit Fehlern, da hier gilt

$$\delta_{1x} \neq 0.$$

Stehen die Hilfsmittel eines Laboratoriums zur Verfügung, so empfiehlt sich wohl am meisten (s. S. 11) die Bestimmung von

$$\frac{1}{s_1'} = A_\infty$$

weil diese Größe nach (1) für die Anpassung einer Brille von besonderer Wichtigkeit ist, und weil sie auch bei starken Sammellinsen (Starbrillen) und komplizierter gebauten Brillen merklich von D_1 abweicht.

§ 23. **Die üblichen Formen der einfachen Brille.** Im augenblicklichen Stadium der Behandlung, wo nur die Brechkraft des Brillenglases in der Achsenrichtung maßgebend war, kann man als entscheidend für die Wahl der Durchbiegung die Rücksichten auf die Fabrikation gelten lassen. Da die auf großen Schleifschalen erfolgende Herstellung sphärischer Flächen um so bequemer ist, je mehr Linsen auf einmal bearbeitet werden, und da diese Anzahl bei gleicher Größe der Brillengläser mit dem Radius der zu bearbeitenden Fläche rasch abnimmt, so lag es nahe, die beiden Krümmungsradien absolut gleich und von entgegengesetztem Vorzeichen zu wählen, weil dann die Krümmungsradien ihren Maximalwert annehmen. So ergaben sich die gleichseitigen Sammel- und die gleichseitigen Zerstreuungslinsen. Wählt man die plankonvexe oder die plankonkave Form, so wird zwar der eine Krümmungsradius wesentlich kürzer — etwa halb so lang — der andere aber unendlich, und die dann zu bearbeitende Planfläche bietet einem großen Betriebe sehr merkliche Vorteile. Es sei vorgreifend gleich hier bemerkt, daß die gewiß nicht vollkommene Form der plankonvexen und -konkaven Brillengläser dem Benutzer etwas bessere Dienste leistet als die vorher besprochenen gleichseitigen.

Aus einem ebenfalls erst später zu erörternden Grunde schliff man schließlich noch meniskenförmige (periskopische) Brillengläser und ging dabei zunächst wohl stets so vor, daß man der Fläche von einer dem Zeichen

der Gesamtbrechkraft entgegengesetzten Wirkung einen Radius von etwa 40 cm erteilte. Die Wirkung wurde im allgemeinen auch wirklich gesteigert, aber für die verschiedenen Brillennummern in einem ganz verschiedenen Maße und fast überall nicht in einem ausreichenden Betrage.

Später hat man auch noch andere Meniskenformen hergestellt, nämlich solche mit den festen Radien $r = 17^1/_2$, $11^1/_2$, 9 und 6 cm. Die Gläser mit den beiden letzterwähnten, schon recht starken Durchbiegungen sind als Halbmuschel- und als Muschelgläser beschrieben worden. Unter diesen Formen finden sich, wie schon hier bemerkt sei, hier und da für bestimmte axiale Refraktionen gute Gläser, doch scheinen bis jetzt wenigstens keinerlei Angaben darüber veröffentlicht worden zu sein, welche davon aus der großen Zahl der angebotenen vorzuziehen seien. Wie schon manchmal bemerkt, läßt sich auf dieser Stufe der Untersuchung eine solche Entscheidung auch noch nicht fällen; für die bevorzugte Achsenrichtung allein sind alle Brillengläser brauchbar.

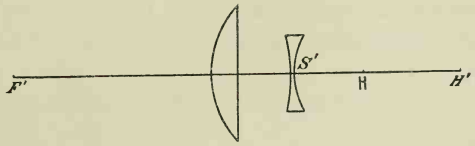
§ 24. **Brillen aus zwei Linsen.** Schon gegen Ende des 18. Jahrhunderts kam man auf den Gedanken, anstatt eines einzigen, zwei hintereinander geschaltete Brillengläser anzuwenden, um die Bildgüte zu erhöhen. Dabei hat man sowohl die Verkittung beider Bestandteile vorgeschlagen als auch einzelstehende Linsen ins Auge gefaßt.

Eine derartige Anordnung von zwei Linsen geringer Dicke in einem kleinen Abstande voneinander liefert ein System, bei dem die Hauptpunkte in der Nähe der Linsenscheitel liegen. Es zeigt sich also auch hier nur eine geringe Verschiedenheit zwischen Schnittweite s' und Brennweite f_1, und dieser Unterschied kann nur bei Linsen höherer Brechkraft merklich werden.

Ein anderer Gedankengang führte auf zwei Einzelglieder von verschiedener Wirkung, die zu einer Art von holländischem Fernrohr vereinigt wurden. Im 18. Jahrhundert, wo diese Idee wohl zuerst auftrat, schlug man auch eine Art Gregoryschen Teleskops vor, so daß diese Konstruktion nur uneigentlich hier, wo es sich um transparente Mittel handelt, erwähnt werden kann. Schon damals legte man großes Gewicht darauf, daß der Abstand der beiden Bestandteile veränderlich sei. Später wurden die gleichen Bestrebungen mit Linsen durchgeführt, doch scheint auch hier ein Erfolg, den man für myopische Augen erwartete, ausgeblieben zu sein. Systeme dieser Art sollen fernerhin als Fernrohrbrillen bezeichnet werden, und sie bieten ein etwas größeres Interesse, da sich ihre Wirkung nicht auf den ersten Blick übersehen läßt. Da diese Systeme für höhere Grade von Kurzsichtigkeit bestimmt sind, so müssen sie natürlich eine ziemlich kleine negative Schnittweite haben, und das wird erreicht, wenn die Zerstreuungslinse ziemlich nahe an der Sammellinse steht und eine viel kürzere Brenn-

weite hat als diese. Ähnlich wie die aus den entsprechenden Elementen aber in größerem Abstande voneinander zusammengesetzte Kombination, die unter dem Namen des photographischen Teleobjektivs bekannt ist, sind auch bei der Fernrohrbrille die Hauptpunkte ziemlich weit von den Linsenscheiteln entfernt, doch sind sie hier umgekehrt angeordnet wie dort, nämlich gegen das Negativglied hin verschoben und in gekreuzter Lage.

Fig. 10.



Meridianschnitt durch eine Fernrohrbrille
$A_\infty = -18$ dptr.

In einem besonderen Aufsatz über diese Fernrohrbrillen hat M. von Rohr (*13*) mehrere Beispiele angegeben, von denen eines hier in Figur 10 benutzt sei, das sich auf ein Auge von $-14{,}64$ dptr Myopie und eine dafür passende korrigierende Fernrohrbrille bezieht.

Hier sind unter Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnung die Brechkräfte D_1, D_2 der beiden Bestandteile und der Abstand

$$H_1' H_2 = \delta_{12}$$

gegeben durch

$$D_1 = 26{,}35 \text{ dptr}; \quad D_2 = -60{,}20 \text{ dptr}; \quad \delta_{12} = 0{,}01414 \text{ m},$$

und es ergibt sich die Brechkraft der Fernrohrbrille zu

$$D_{12} = -11{,}42 \text{ dptr}$$

und der Abstand zwischen den beiden Hauptpunkten

$$\delta = H' \mathbf{H} = -0{,}01923 \text{ m},$$

so daß sich die Brechkraft des aus dem myopischen Auge und der Fernrohrbrille zusammengesetzten Systems zu

$$D = 34{,}35 \text{ dptr}$$

herausstellt.

Man erhält also in diesem Falle für die Vergrößerung des Netzhautbildes gegenüber einem normalen Auge

$$V_k = \frac{D_{11}}{D} = \frac{58{,}64}{34{,}35} = 1{,}707.$$

Auch andere Angaben findet man an der angegebenen Stelle, so z. B. über den Effekt von schwachen Vorhängegläsern.

Handelt es sich um die Betrachtung näherer Objekte, so sei der zitierten Arbeit die Angabe entnommen, daß die Änderung der Akkommodationsbreite durch eine korrigierende Fernrohrbrille meistens so stark gesteigert wird, daß man entweder Vorhängegläser verwendet oder zu einer besonderen Presbyopen-Fernrohrbrille greift. Was die Vergrößerung angeht, so ist die Fernrohrbrille auch hier wieder in Beziehung zu setzen zu der Leistung einer dünnen Brille im Abstande δ', deren Brechkraft D' so bestimmt werden muß, daß dem in gleicher Entfernung vom hinteren Brillenscheitel angenommenen Objekt die gleiche Bildentfernung entspricht, die für die Presbyopen-Fernrohrbrille galt. Für die dünne Brille ergibt sich nach S. 23

$$-\frac{\omega_h'}{\alpha_1} = D' - A(1 - \delta' D')$$

und für die Presbyopen-Fernrohrbrille von der Brechkraft D_{12}

$$-\frac{\omega_h}{\alpha_1} = D_{12} - A(1 - \delta D_{12}),$$

mithin erhält man die geforderte Änderung der Vergrößerung

$$V_p = \frac{D_{12} - A(1 - \delta D_{12})}{D' - A(1 - \delta' D')}.$$

Für einen viel eleganteren, von A. Gullstrand selbst mitgeteilten Ausdruck für V_p sei auf die bereits zitierte Rohrsche Arbeit (*13.* 573.) verwiesen, wie sich dort überhaupt die Verhältnisse für die Fernrohrbrille gewissermaßen monographisch behandelt finden.

Will man die korrigierende Fernrohrbrille zu den gewöhnlichen Brillen in Beziehung setzen, so muß man sie an die Beispiele des zweiten Falles (S. 14) anschließen, weil auch hier

$$\delta < \frac{1}{D_{11}}$$

gilt. Da aber, gegen jenen Fall gehalten, δ sein Zeichen geändert hat, so ergeben sich gewisse Abweichungen von den dort gültigen Gesetzen. Die hauptsächlichste ist wohl der negative Abstand des zweiten Hauptpunkts der Kombination vom zweiten Augenhauptpunkt. In engem Zusammenhange damit steht die wesentliche Verlängerung der Brennweite f'_{12}. Die sehr merkbare Zunahme der Bildgröße auf der Netzhaut um fast 71 % scheint dieses System für gewisse Fälle hochgradiger Myopie mit herabgesetzter Sehschärfe geeignet zu machen, bei denen das gewöhnliche korrigierende Fernglas nicht gut vertragen wird, und das war auch E. Hertels Gedanke, als er dem Verfasser dieses Problem stellte. E. Hertel (*2.*) hat dann 1910 eingehend über seine Erfahrungen mit den Fernrohrbrillen berichtet. Er hat gezeigt, daß die Erhöhung der Sehleistung durch die Fernrohrbrille proportional ist der Vergrößerung des Netzhautbildes, und er hat

ferner darauf hingewiesen, daß man zweckmäßig die Vergrößerung nicht zu weit steigere. Denn da mit dem Wachsen der Vergrößerung das Gesichtsfeld unweigerlich abnimmt, so ist es möglicherweise für den größeren Teil der Patienten wichtiger, ein verhältnismäßig großes Feld zu übersehen als in einem kleinen Teile eine sehr deutliche Wahrnehmung zu haben.

Es mag hier darauf hingewiesen werden, daß man sich früher bemüht hat, ähnliche Erfolge mit einer verwandten Konstruktion zu erreichen, die unter dem Namen des Steinheilschen Konus bekannt geworden ist. Man versteht unter einem Steinheilschen Konus ein Glasstück von beträchtlicher Dicke, das in der Richtung der Lichtbewegung von einer stark sammelnden und einer stärker zerstreuenden Fläche begrenzt ist. In dem historischen Teil werden diese Bestrebungen von ihrem ersten Auftreten ab verfolgt werden.

Die Brillen mit verschiedenen Brennweiten.

§ 25. **Die Vorhängebrillen.** Noch ein anderes Ziel hat man dadurch zu erreichen gestrebt, daß man zwei Linsen nacheinander vom Licht durchsetzen ließ. Man wollte nämlich in den Fällen, wo die Fernbrille nicht auch zur Arbeit in der Nähe verwandt werden kann, dem Brillenträger das Lesen ermöglichen, ohne ihn die Brille abnehmen zu lassen. Dies wurde durch eine schwache Sammellinse erreicht, die mit dem Fernglas zusammenwirkte. Solche Zusatzlinsen sind nach einer häufig zur Verwirklichung vorgeschlagenen Möglichkeit der Anbringung Vorhängegläser genannt worden, und es läßt sich wohl sagen, daß diese Idee eines weiteren Ausbaus fähig ist. Auch für Starbrillen hat man diese Zusatzlinsen empfohlen, um das für Aphakische besonders unangenehme Wechseln des Fern- und des Naheglases zu vermeiden.

Indessen ist trotz aller Mühe, die man sich gegeben hat, das System der Vorhängebrillen nicht in Aufnahme gekommen, und seit der Einführung der Bifokalgläser scheint auch gar keine Aussicht mehr dafür vorhanden zu sein.

§ 26. Diese Idee wird bekämpft von den **Bifokalbrillen,** d. h. von Gläsern, bei denen verschiedene Teile verschiedene Brennweiten haben. Häufig treten nur zwei verschiedene Brennweiten auf, wonach auch der Name gebildet worden ist, doch sind auch schon drei oder gar vier verschiedene Brennweiten an demselben Brillenglase vereinigt worden. Verständlicherweise ordnet man die verschiedenen Brechungswirkungen den einzelnen Brillenteilen so zu, daß die Benutzung besonders bequem wird. So erhält der obere, in der Regel zum Sehen in die Ferne benutzte Brillenteil die geringere Sammelwirkung (kleinere Konvex-, größere Konkavnummer), der untere, beim Arbeiten (Lesen) benutzte die stärkere (größere Konvex-, kleinere Konkavnummer).

Die Herstellung solcher Bifokalgläser kann sowohl durch mechanische Zusammensetzung geschehen, wobei dann die Brillenfassung eine große Rolle spielt, als auch durch eine feste Verbindung der optischen Teile unter sich. Hierbei kommt sowohl das Anschleifen zweckmäßig gewählter Grenzflächen an das gleiche Glasstück vor, als auch die Verbindung durch einen Kitt und schließlich die Verbindung zweier Substanzen mit Hilfe eines Schmelzverfahrens. Häufig werden auch die verlangten Brechungswirkungen nicht durch die Abänderung der Flächenkrümmung, sondern durch die geeignete Wahl der Linsenmedien bei konstanter Flächenkrümmung erreicht. Dabei kann es allerdings, wie vorgreifend bemerkt werden soll, zu unerwünschten chromatischen Fehlern kommen. In jedem Falle wird zu fordern sein, daß die Stellen des Brillenglases, bei denen keine Richtungsänderung auftritt (optische Zentren), nahe beieinander liegen, damit man nicht durch eine starke prismatische Wirkung (Verschiebung, Springen der Bilder) in der Nähe der Trennungslinie gestört wird. Auf die Bifokalgläser mit kontinuierlichem Übergang zwischen den beiden Grenzbrechkräften, wie sie Henry Orford (*1.*) im Anfang des Jahres 1909 unter Schutz stellte, sei hier nur hingewiesen.

Den Zusatzlinsen gegenüber zeigen die Bifokalgläser eine sehr fühlbare Einschränkung des Gesichtsfeldes für jede der beiden Gebrauchsmöglichkeiten. Das kann unter Umständen, z. B. beim Treppensteigen und beim Wandern auf schlechtem Wege, recht störend werden. Anderseits ist die Bifokalbrille sehr viel leichter und zierlicher und erlaubt einen unvergleichlich schnelleren Übergang von einer der vorgesehenen Entfernungen zur anderen. Daß die Gunst der Käufer auf der Seite der Bifokalgläser steht, ist nicht zu bezweifeln.

b) Die punktuell abbildenden Brillen.

Die Berücksichtigung des Augendrehpunkts.

§ 27. Die vorher vorgetragenen Erwägungen bezogen sich allein auf die Abbildungskonstanten des Brillenglases, wie sie für den Raum in geringer Entfernung von der Achse, den fadenförmigen paraxialen Raum, gelten. Es ist das ohne Zweifel nur eine sehr oberflächliche Art der Behandlung, aber sie ist für Jahrhunderte allein im Gebrauch gewesen, und erst seit dem Ausgange des 19. Jahrhunderts beginnt sich sehr allmählich eine etwas tiefer gehende Anschauung Geltung zu verschaffen. Es handelt sich dabei um die Berücksichtigung des Auges im direkten Sehen, also um die Verwendung der Kenntnis, daß wegen des sehr kleinen Bezirks des scharfen Sehens sich das Auge beim gewöhnlichen Gebrauch unaufhörlich bewegt.

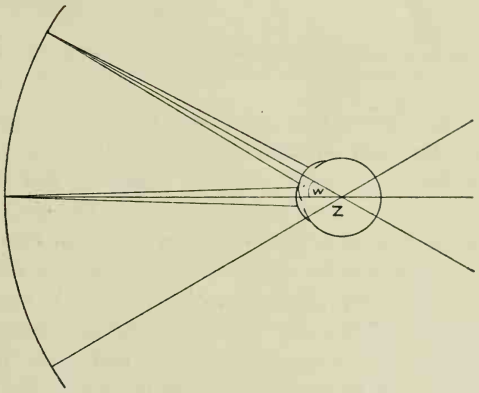
Wenn nun auch diese Tatsache sehr lange bekannt gewesen ist, so hat man doch erst recht spät die Forderung ausgesprochen, optische Systeme

so zu korrigieren, daß sie dem bewegten Auge, d. i. dem Auge beim direkten Betrachten von Objekten, möglichst gute Dienste leisten können. Diese Forderung fällt mit der Vorschrift zusammen, die Fehler schiefer Büschel für den Augendrehpunkt als Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen aufzuheben. Für den Verfasser besteht kein Zweifel daran, daß diese allgemeine Forderung bewußt zuerst von A. Gullstrand ausgesprochen worden ist, und es wird dementsprechend jene Forderung auch als die Gullstrandsche Bedingung für die Korrektion von Systemen zur Unterstützung des unbehinderten Sehens mit bewegtem Auge bezeichnet werden. Im historischen Teile dieser Schrift wird sich eine Darstellung der mannigfachen Ansätze finden, die man im Laufe der Zeit, zum Teil unbewußt, gemacht hat, um jene, hier scharf definierte Forderung zu erfüllen.

Das Sehen mit bewegtem Auge.

§ 28. Für die dem Auge beim gewöhnlichen Gebrauch eigentümliche Bewegung findet sich nur bei wenigen und praktisch ziemlich unwichtigen Instrumenten ein Analogon, und es wird daher um so nötiger sein, kurz die Folgen einer solchen Anlage zu erörtern, als es sich jetzt um das Sehen in dem endlich ausgedehnten Blickfelde handelt, das im allgemeinen in den Lehrbüchern nicht dargestellt wird.

Fig. 11.

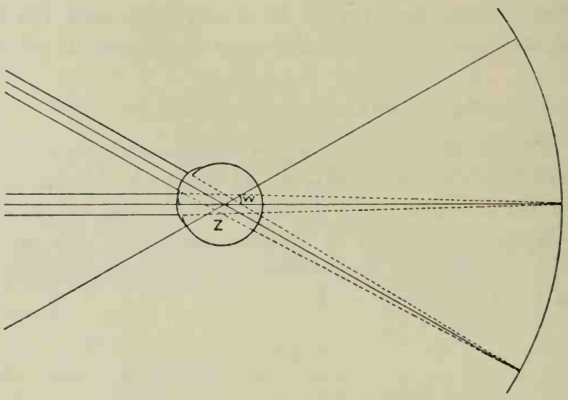


Schematische Darstellung der reellen Schärfenfläche eines stark kurzsichtigen Auges. Die eintretenden Büschel sind gleichmäßig divergent.

Während vorher beim Sehen mit ruhendem Auge allein der Ort des Brennpunkts und die Größe eines sehr kleinen Feldes in der unmittelbaren Nachbarschaft der Achse zu behandeln waren, müssen jetzt Neigungswinkel w von beträchtlicher Größe berücksichtigt und dafür der Bildort und die Bild-

größe ermittelt werden. Die Richtung der optischen Achse des Auges gehe bei den Figuren 11 und 12 in jeder Lage durch den Augendrehpunkt Z, der 13 mm hinter dem Hornhautscheitel angenommen werden soll. Die so definierte zweifache Mannigfaltigkeit von Strahlen soll in Übereinstimmung mit dem Gebrauch in der geometrischen Optik das Hauptstrahlenbündel heißen, und es sei hier ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß dieses Hauptstrahlenbündel wohl zu unterscheiden ist von dem früher betrachteten wenig geöffneten Strahlenbündel, das seine Spitze in dem vorderen Augen-

Fig. 12.



Schematische Darstellung der virtuellen Schärfenfläche eines stark übersichtigen Auges. Die eintretenden Büschel sind gleichmäßig konvergent.

hauptpunkte hatte. Sucht man auf jedem Hauptstrahl den Objektort auf, indem man auf ihm den Abstand des Fernpunkts vom vorderen Augenhauptpunkte aufträgt, so erhält man als Ergebnis, daß bei Entspannung der Akkommodation die scharf gesehenen Punkte auf einer zum Drehungszentrum des Auges konzentrischen Kugel liegen, die in dem speziellen Falle eines emmetropen Auges in die unendlich ferne Ebene übergeht; diese Kugelfläche sei entsprechend den Auseinandersetzungen von M. von Rohr (*11. 580.*) als die Fernpunktsfläche des Auges eingeführt. Dem Nahepunkt entspricht ganz analog die Nahepunktsfläche, und beide, Fern- und Nahepunktsfläche, schließen einen gewissen Raum, den Schärfenraum, ein. In ihm liegen unendlich viele, zum Augendrehpunkt konzentrische Schärfenflächen, die je den verschiedenen Akkommodationszuständen des Auges (zwischen völliger Entspannung und höchster Betätigung) entsprechen.

Die Winkel w', unter denen ein Gegenstand beim direkten Sehen erscheint, werden direkt durch den Winkel erhalten, um den sich das Auge beim Fixieren des Gegenstandes dreht. Da dieser Winkel durch keinerlei

optische Abbildung, sondern durch die mechanische Drehung selbst erhalten wird, so folgt, daß das unbewaffnete Auge im direkten Sehen keine Verzeichnung aufweist.

Die Abbildung längs endlich geneigten Hauptstrahlen erfolgt übrigens ebenso wie beim Sehen mit ruhendem Auge, da das Auge beim Blicken keine bevorzugte Richtung kennt.

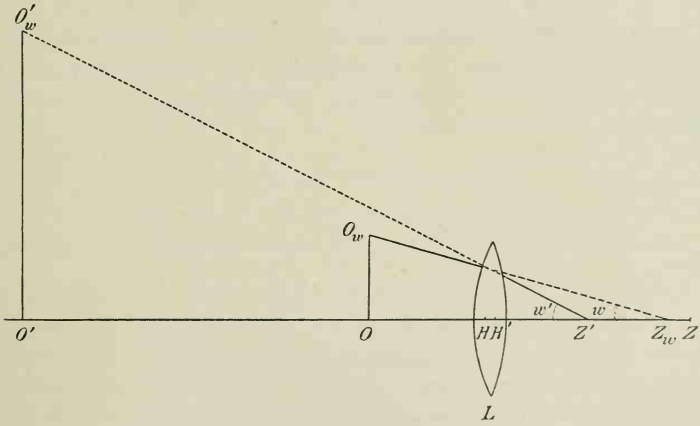
Die Brillen mit einer einzigen Brennweite.

§ 29. **Die Lupenbrillen.** Daß diese Brillen am einfachsten zu behandeln sein werden, kann man schon daraus folgern, daß sie nach S. 24 als einfache Zusatzinstrumente zu dem emmetropen, akkommodationslosen Auge aufzufassen sind. Da in diesem Falle die Fernpunktsfläche des Auges mit der unendlich fernen Ebene zusammenfällt, so lautet die Forderung für eine ideale Lupenbrille: es ist ein reelles, ebenes Objekt (die Schreib- oder Druckfläche) durch eine dünne Linse positiver Brennweite verzeichnungsfrei und ohne Astigmatismus schiefer Büschel im Unendlichen abzubilden.

Hierin müssen die Ausdrücke »verzeichnungsfrei« und »ohne Astigmatismus schiefer Büschel« näher erläutert werden.

§ 30. Die Verzeichnung im allgemeinen. Für die Feststellung der Verzeichnung (Anorthoskopie) soll die untenstehende Figur 13 gelten.

Fig. 13.



Schematische Darstellung des Strahlenganges für die Definition der Verzeichnung eines Brillenglases bei endlichen Neigungswinkeln w, w' des Hauptstrahls.

Es bezeichne L das Brillenglas, Z' den Augendrehpunkt, Z das ihm auf der Objektseite unter Beschränkung auf paraxiale Büschel entsprechende Objekt (den scheinbaren Ort des Augendrehpunkts), Z_w den Schnittpunkt

des unter w geneigten objektseitigen Hauptstrahls, der nach dem Durchtritt durch L die Achse in Z' unter der Neigung w' schneidet (Z_w fällt darum nicht mit Z zusammen, weil der scheinbare Ort des Augendrehpunkts mit sphärischer Aberration behaftet dargestellt worden ist). Ist dann das Objekt durch OO_w gegeben, so entspricht ihm auf der in O' achsensenkrecht errichteten Bildebene die Strecke $O'O'_w$, da O'_w der Durchstoßungspunkt des bild- oder augenseitigen Hauptstrahls $Z'O'_w$ ist. Nach der Gullstrandschen Bezeichnungsweise gehört O'_w zu der durch das System L und Z' vermittelten punktuellen Korrespondenz auf der als Schirmfläche dienenden Bildebene in O', und es gibt

$$V_w = \frac{O'O'_w}{OO_w}$$

die Vergrößerung an, die der endliche Abstand OO_w durch das in Z' abgeblendete System L erfährt, wenn man ihn mit dem Achsenabstande $O'O'_w$ in der Schirmfläche vergleicht. Ein Objektelement in der Nähe der Achse erfährt nach (2) auf S. 12 die Vergrößerung

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{A}{B} = \frac{b}{a} = \frac{H'O'}{HO} = V_0,$$

und das System L ist für den Winkel w frei von Verzeichnung oder orthoskopisch, wenn

$$\frac{O'O'_w}{OO_w} = \frac{H'O'}{HO}; \quad V_w = V_0$$

gilt. In diesem Falle kann man die aus Punkten O'_w gebildete Projektionsfigur mit der Gesamtheit der Objektpunkte O_w in perspektivische Lage bringen, die beiden Darstellungen auf der Objektebene und der ebenen Schirmfläche sind also ähnlich.

Fig. 14.

Schematische Darstellung der Erscheinungsform der tonnenförmigen kissenförmigen Verzeichnung für ein quadratisches Objekt.

Ist das nicht der Fall, so ist Verzeichnung vorhanden, und zwar ist sie tonnenförmig, d. h. ein quadratisches Objekt wird in einem gegen den Rand hin abnehmenden Maßstab wiedergegeben (s. Fig. 14), wenn

$$V_w < V_0,$$

oder die Verzeichnung ist kissenförmig, d. h. ein quadratisches Objekt wird in einem gegen den Rand hin zunehmenden Maßstab wiedergegeben (s. Fig. 14), wenn

$$V_w > V_o$$

gilt.

Ist wie bei der Lupenbrille

$$L O' = H' O' = b_1 = \infty,$$

so sind für die Brille die angularen Bildabstände w' mit den linearen Objektabständen $O O_w$ zu vergleichen

$$V_w = \frac{\operatorname{tg} w'}{O O_w},$$

und beim Übergang zur Grenze ist (da $H' O' = \frac{1}{B_1}$ gilt)

$$\lim_{w' = o} \operatorname{tg} w' = - \beta B_1$$

folglich

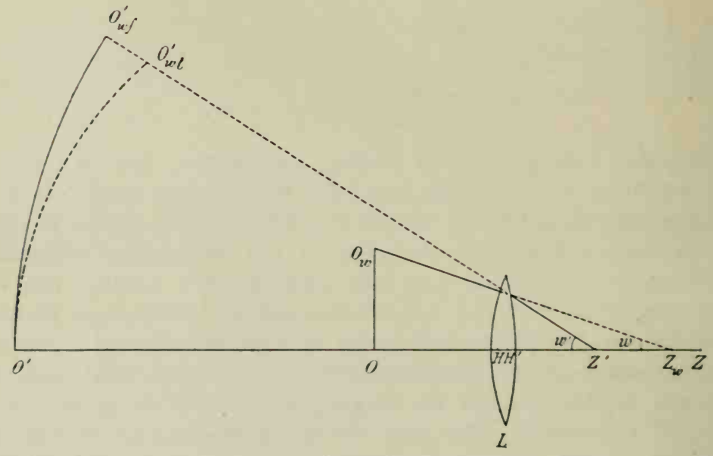
$$V_o = \frac{- \beta B_1}{\alpha} = - A_1 = D_1.$$

In jedem Falle aber ist es wichtig, festzustellen, daß die hiernach allein durch die Durchstoßungspunkte der Hauptstrahlen bestimmte Verzeichnung, wie es bei einem solchen Projektionsproblem auch sein muß, von der Güte der Strahlenvereinigung in den Bildpunkten vollständig unabhängig ist. Außerdem soll noch hervorgehoben werden, daß die soeben eingeführte Definition der Verzeichnung des Brillenglases übereinstimmt mit der für optische Instrumente im allgemeinen gültigen. Auf die Verbindung des Auges mit dem Brillenglase ist weiter noch keine Rücksicht genommen worden, als daß die Ableitung einen endlichen positiven Abstand $L Z'$ voraussetzte. Man wird also den Augendrehpunkt an den Ort Z' bringen können, wenn $L Z'$ groß genug angenommen wird. Später wird noch eine andere Möglichkeit, die Verzeichnung zu bestimmen, angegeben und zu dieser in Beziehung gesetzt werden, und zwar wird dabei gerade die Verbindung des Auges mit dem Brillenglase zu behandeln sein.

§ 31. Der Astigmatismus schiefer Büschel im allgemeinen. Geht man nun zur Feststellung des »Astigmatismus schiefer Büschel« über, so ist zunächst der Ausdruck näher zu bestimmen. Die Verschiedenheit, die leider zwischen der in der Ophthalmologie und der in der konstruktiven Optik üblichen Bezeichnungsweise herrscht, wird sehr deutlich von A. Gullstrand (*4. 948.*) hervorgehoben, und zwar geschieht das mit den folgenden Worten: »Was die Terminologie betrifft, so habe ich den Astigmatismus als Eigenschaft des Strahlenbündels längs einem ausgewählten Strahle bezeichnet, was immer gemeint wird, wenn kurz vom Astigmatismus eines Strahlenbündels gesprochen wird. Unter Astigmatismus eines optischen

Instrumentes wird leider Verschiedenes verstanden. In der medizinischen Optik, wo Instrumente vorkommen, in welchen das axiale Strahlenbündel längs der Achse astigmatisch ist, — astigmatische Augen, sphärozylindrische bez. torische Brillen — wird diese Eigenschaft gemeint. In der Literatur der konstruktiven Optik dagegen versteht man darunter den Astigmatismus eines schief einfallenden Strahlenbündels, oft auch nur den eines Strahlenbündels mit unendlich kleiner Neigung gegen die Achse, in welchem letzteren Falle der Astigmatismus des Instrumentes durch die Krümmungsdifferenz der beiden Bildflächen im Schnittpunkte mit der Achse gemessen wird. Ich kann nicht umhin, der Meinung Ausdruck zu geben, daß erstere Ter-

Fig. 15.



Schematische Darstellung des Strahlenganges für den Astigmatismus längs einem unter w, w' geneigten Hauptstrahle endlicher Neigung.

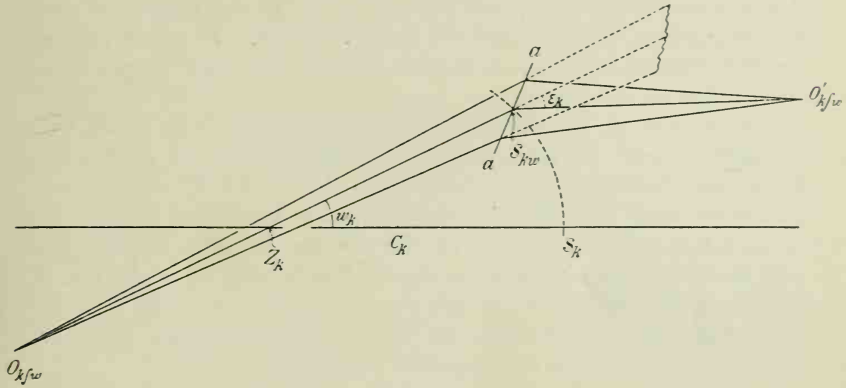
minologie wissenschaftlich richtig, letztere recht unglücklich ist.« In Übereinstimmung damit soll im folgenden unter Astigmatismus schiefer Büschel schlechthin nur der Astigmatismus längs den durch eine bestimmte Blende Z' bestimmten Hauptstrahlen verstanden werden, und zwar soll ein achsensymmetrisches optisches Instrument dann frei vom Astigmatismus schiefer Büschel, oder wie im folgenden gesagt werden soll, punktuell abbildend für einen Neigungswinkel w heißen, wenn längs einem durch Z' bestimmten Hauptstrahl mit der endlichen objektseitigen Neigung w der Astigmatismus ebenso wie längs der Achse den Wert Null annimmt.

Daß überhaupt bei schiefem Durchgang von Strahlen durch optische Instrumente mit Umdrehungsflächen Astigmatismus auftritt, folgt nach der Gullstrandschen Behandlungsweise aus der allgemeinen Natur aller ein

optisches Instrument verlassenden Wellenflächen. Deshalb hat man auch vorschlagen können, den nach Staroperationen manchmal auftretenden Astigmatismus aphakischer Augen durch Schiefstellung des Korrektionsglases günstig zu beeinflussen.

Die Formeln zur rechnerischen Feststellung des Astigmatismus schiefer Büschel sollen hier nicht mitgeteilt werden; sie sind leicht in den Handbüchern der geometrischen Optik zu finden. Die nebenstehende Figur 15 wird aber deutlich machen, daß man im allgemeinen Falle von zwei partiellen Bildpunkten O'_{wt} und O'_{ws} zu sprechen hat, die zu einem und demselben Objektpunkte O_w gehören. Es sind die Brennpunkte in den beiden zu dem betreffenden Hauptstrahl gehörigen Hauptschnitten. Für

Fig. 16.



Schematische, ins Endliche überhöhte Darstellung der Drehung der Sagittalebene bei der $k$ten Brechung des Hauptstrahls in S_{kw}.

Neigung des Hauptstrahls vor der Brechung w_k, nach der Brechung $w'_k = w_k - \varepsilon_k$; Inzidenzpunkt S_{kw}; Richtungsänderung ε_k; a—a Richtung der auf der Zeichenebene senkrechten Achse durch den Inzidenzpunkt S_{kw}, um die die Drehung der Sagittalebene erfolgt.

den hier betrachteten Fall einer zentrischen Benutzung, d. h. bei zentrierten Systemen mit Umdrehungsflächen und einem auf der Systemachse liegenden Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen kann man die Lage dieser Hauptschnitte unmittelbar angeben. Der erste ist die Ebene der tangentialen (t-) Büschel, die den Hauptstrahl und die Systemachse enthält (die Papierebene der Zeichnung), und der zweite ist eine jedesmal durch den Hauptstrahl gelegte und auf der ersten senkrecht stehende Ebene. Sie soll die Ebene der sagittalen (f-) Büschel heißen. Während also bei den verschiedenen Brechungen, die ein Hauptstrahl von beliebiger endlicher Neigung w erfährt, die Ebene der tangentialen Büschel als ein Meridianschnitt konstant im Raume bleibt, ändert, wie Figur 16 erkennen läßt, die Ebene der sagit-

talen bei jeder Brechung ihre Lage im Raume: sie bleibt zwar immer senkrecht zu dem Meridianschnitt, dreht sich aber um eine im Inzidenzpunkt auf dem Meridianschnitt senkrecht errichtete Achse um den ganzen Betrag der durch die Brechung verursachten Richtungsänderung des Hauptstrahls. Die erste Fokallinie (in O'_{wt} auf Figur 15) steht also senkrecht auf der Zeichenebene und dem Hauptstrahl, die zweite (in O'_{wf}) steht ebenfalls senkrecht auf dem Hauptstrahl und liegt in der Zeichenebene.

Fällt ein solches astigmatisch modifiziertes Bündel auf das zu unterstützende achsensymmetrische Auge, dessen Drehungszentrum Z' auf der Systemachse liegt, und das somit den nach dem Durchtritt unter w' geneigten Hauptstrahl mit senkrechter Inzidenz aufnimmt, so bleibt offensichtlich der durch das Brillenglas bestimmte erste (t-) Hauptschnitt ein solcher auch für das Auge, und damit bleibt die gleiche Eigenschaft auch dem Hauptschnitt der sagittalen (f-) Büschel erhalten. Es nimmt also bei zentrischer Benutzung ein achsensymmetrisches Auge den Astigmatismus schiefer Büschel des Brillenglases wahr.

Sucht man für verschiedene Hauptstrahlneigungen w die beiden Orte O'_{wt} und O'_{wf} auf, wo die beiden Brennpunkte entstehen, so ergeben sich dafür zwei Umdrehungsflächen, die Schale der t- und die der f-Brennpunkte, die beide ihre besondere Lage im Raume haben und einander nur in der Achse nahe kommen, wo sie sich in achsensymmetrischen Systemen auch berühren. Ein Schnitt durch diese beiden Schalen ist in der Fig. 15 für den oberen Teil gezeichnet, und zwar wurde, wie es in der geometrischen Optik üblich ist, die Spur der Schale der t-Brennpunkte gestrichelt, die Spur der Schale der f-Brennpunkte ausgezogen.

§ 32. Der Astigmatismus schiefer Büschel der Lupenbrille. Besteht längs eines Hauptstrahles von endlicher Neigung w Astigmatismus, so kommt in dieser Richtung für ein achsensymmetrisches Auge überhaupt keine punktuelle Abbildung zustande. Es bleibt daher die erste Aufgabe eines Brillenglases, eine deutliche Abbildung zu vermitteln, unerfüllt. Diese Forderung ist so wichtig, daß auf S. 9 in den einleitenden Bemerkungen zum Sehen des brillenbewaffneten ruhenden Auges das Entstehen einer deutlichen Abbildung vor der Größe des Bildes behandelt wurde. Die Forderung einer punktuellen Abbildung längs schiefen Büscheln führt zunächst bei dem vorliegenden, durch sphärische Flächen begrenzten Brillenglase auf die Aufgabe, den Astigmatismus längs dem Hauptstrahl von der endlichen Neigung w aufzuheben.

Wenn nach der Gullstrandschen Konstruktionsvorschrift der Augendrehpunkt den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen bestimmt, so muß man für die Rechnung, wo sonst die Blendenmitte den Kreuzungspunkt der

Hauptstrahlen definiert, diesen Kreuzungspunkt genügend weit von der letzten Linsenfläche entfernt annehmen. Setzt man für den Abstand

$$SS = \mathfrak{d}$$

die zunächst willkürlich gewählten Grenzen fest

$$12\,\text{mm} \leqq \mathfrak{d} \leqq 17\,\text{mm},$$

so ergibt sich unter Beachtung des Abstandes zwischen Drehpunkt und Hornhautscheitel

$$25\,\text{mm} \leqq \mathfrak{x}' \leqq 30\,\text{mm},$$

wo $\mathfrak{x}'$ den Abstand des Kreuzungspunkts der Hauptstrahlen vom benachbarten Brillenscheitel bedeutet[1]).

Die Mittel dafür, den Astigmatismus für endliche Neigungen zu heben, sind nun insofern beschränkt, als die Brechkraft D_1 der Linse und die Größe von $\mathfrak{x}'$ vorgeschrieben sind, und als ferner schon auf S. 25 die Forderung aufgestellt worden war, mit einer möglichst geringen Linsendicke auszukommen.

Das einzige Mittel, das somit noch verfügbar ist, ist die Wahl des einen Radius, oder wie man nach S. 25 auch sagen kann, die Durchbiegung, und man sieht hieraus deutlich, daß bereits die erste Forderung bestimmter Eigenschaften schiefer Büschel zur Bestimmung der Linsenform führt, die für das ruhende Auge gleichgültig gewesen war.

Hält man, die Anforderungen des Gebrauchs berücksichtigend, an dem endlichen Werte von w fest, so gibt es kein anderes Mittel als das wiederholter trigonometrischer Durchrechnungen und Bestimmungen des Astigmatismus für verschiedene Werte der Durchbiegung. Ein solches Verfahren ist zwar ganz exakt, aber recht umständlich und ziemlich unübersichtlich.

Beschränkt man sich aber auf einer vorbereitenden Stufe der Rechnung auf kleine Winkel w, d. h. setzt man sich zunächst zum Ziel, den Astigmatismus auf Hauptstrahlen im paraxialen Gebiet aufzuheben, so werden

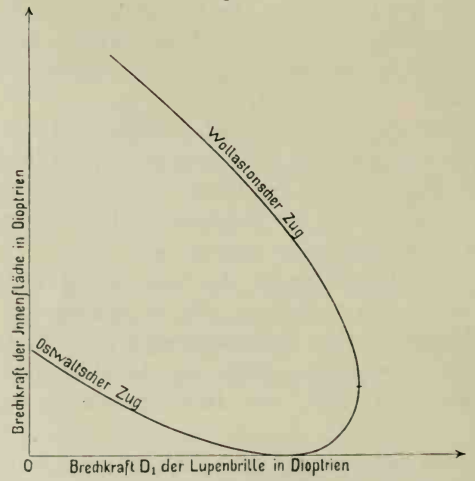
---

[1]) Da bei Lupenbrillen das Bild stets im Unendlichen anzunehmen ist, so ist es für den von der Berechnung optischer Instrumente ausgehenden konstruierenden Optiker bequemer, den Strahlengang umzukehren und eine sammelnde Einzellinse zu fordern, die — mit einer Vorderblende vom vorgeschriebenen Abstande versehen — die unendlich ferne Ebene ohne Astigmatismus bei der angegebenen endlichen Hauptstrahlneigung abbilde. So gestellt entspricht das Problem der zwar viel später auftretenden, aber früher rechnerisch bearbeiteten Aufgabe, die Daten einer möglichst vollkommenen photographischen Landschaftslinse mit Vorderblende anzugeben. Allerdings bleibt bei dem vorliegenden Problem der Unterschied bestehen, daß verglichen mit der Brennweite der Lupenbrille der Blendenabstand ungewöhnlich groß ist, wenn man an die Blendenabstände moderner Landschaftslinsen denkt. Es ist das entschieden die Hauptschwierigkeit, die bei der Konstruktion solcher Instrumente auftritt, die zur Unterstützung des Auges im freien direkten Sehen bestimmt sind.

aus den schwerfälligen trigonometrischen leicht übersichtliche algebraische Formeln (Vorrechnungsformeln), aus denen man den Einfluß der verschiedenen Bestimmungsstücke, meistens allerdings nur für verschwindende Linsendicken, leicht erkennen kann. Solche Ausdrücke finden sich beispielsweise bei A. König (*I. 264.*) und M. von Rohr, und man kann aus ihnen auch ersehen, daß die Forderung, den Astigmatismus auf Hauptstrahlen im paraxialen Gebiet aufzuheben, auf eine quadratische Gleichung für den ersten Radius führt.

Eine solche Gleichung hat nun im Bereiche der reellen Zahlen entweder zwei Wurzeln oder gar keine, und daraus folgt, daß sich für ein vorgeschriebenes Wertepaar (D_1, x') entweder zwei Durchbiegungen einer

Fig. 17.



Rein schematische Darstellung für die Anordnung der beiden Wurzeln jener quadratischen Gleichung, die erfüllt sein muß, wenn der Astigmatismus schiefer Büschel im paraxialen Gebiet verschwindet.

dünnen Linse ergeben, die jedoch im Grenzfall identisch sein können, oder gar keine. Hält man an einem bestimmten x'-Wert fest, so hat man für D_1 die Grenzen

$$2 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq m \text{ dptr}$$

einzuführen, wobei m eine vorläufig noch unbestimmte größere positive Zahl bedeutet. Aus der Gleichung ergeben sich, wenn überhaupt eine reelle Lösung möglich ist, stets zwei Werte für r_1, nämlich r_{11} und r_{12}, und zwar sei die Bezeichnung so gewählt, daß der numerische Betrag von r_{11} größer sei als der von r_{12}.

Man kann, wie es in Figur 17 geschehen ist, diese Werte graphisch als Funktion von D_1 oder f_1 auftragen und erhält dann zwei Teile einer

Kurve für die Innenradien der nahe der Achse punktuell abbildenden Lupenbrillen, von denen der eine Teil die Formen mit schwächerer, der andere die mit stärkerer Durchbiegung zusammenfaßt. Der historisch berechtigte Name des Kurvenzugs der stärker durchgebogenen Formen ist der Wollastonsche Teil, der andere mag der Ostwaltsche Zug heißen und die gewöhnlichen Lupenbrillen zusammenfassen.

Wie für so bestimmte Formen der Astigmatismus bei endlicher Neigung und dementsprechend endlicher Linsendicke ausfällt, läßt sich nur mit Hilfe der exakten trigonometrischen Durchrechnung zeigen. Es ergibt sich dabei, daß die Vorrechnungsformeln tatsächlich eine große Bedeutung haben, und daß nur verhältnismäßig geringe Änderungen an den so einfach bestimmten Werten der Durchbiegung anzubringen sind, um auch für endliche Dicken und für endliche Hauptstrahlneigungen punktuell abbildende Linsen zu erhalten. Daß sie dann auch längs Hauptstrahlen von zwischenliegenden Neigungswinkeln hinreichend angenähert anastigmatisch sind, sei hier bemerkt. In der Sprache der konstruktiven Optik würde man sagen, die Zonen des Astigmatismus schiefer Büschel sind bei diesen Konstruktionen bemerkenswert klein.

Die Konstruktion solcher punktuell abbildender Lupenbrillen ist nun für

$$\mathfrak{x}' = 30\,\text{mm}$$

bis zu 11 dptr möglich, wenn der Brechungsindex des Glasmaterials zu 1,52 angenommen wird. Die obere Grenze für m läßt sich noch um geringe Beträge hinausschieben, wenn Glasarten von höherem Index eingeführt werden, doch wird das für Lupenbrillen, wo schon

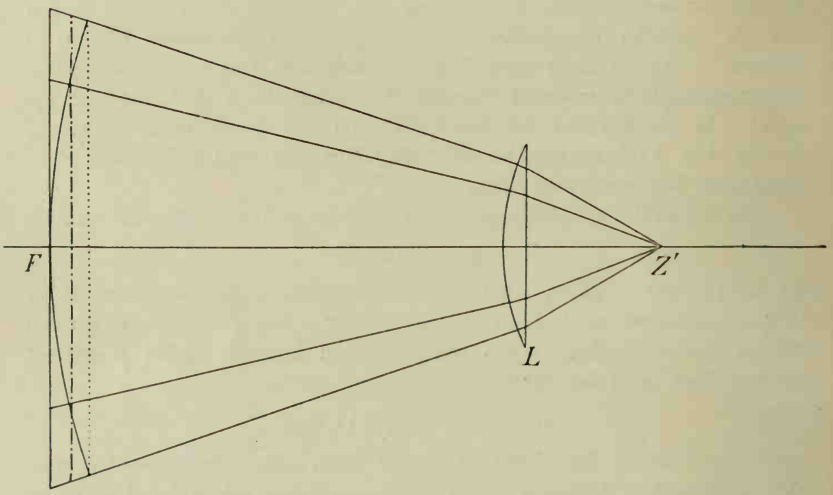
$$m = 11; \quad D_1 = 11\ \text{dptr}$$

eine überreichliche Brechkraft ist, kaum nötig sein. Berücksichtigt man aber noch andere Aufgaben, etwa die Konstruktion schwacher Lupen, so würde hierin allerdings ein gewisser Vorzug des optisch dichteren Mittels zu finden sein, der indessen durchaus von dem verschieden ist, den man in der Verminderung der Krümmung der Grenzflächen zu finden meinte.

§ 33. Die Form der Bildfläche bei der Lupenbrille. Zur Erleichterung der Bildung richtiger Vorstellungen sei hier eine gewöhnliche Lupenbrille von 10 dptr Brechkraft abgebildet. Es ist das eine plankonvexe Linse L, die so aufgestellt wird, daß der Abstand zwischen der Planfläche und dem Hauptstrahlenkreuzungspunkt Z' 30 mm beträgt. Fragt man nun nach der durch den vorderen Brennpunkt F gehenden Objektfläche, deren Punkten mit ausreichender Genauigkeit parallelstrahlige Büschel entsprechen, die die enge Blendenöffnung in Z' verlassen, so sieht man nach der Fig. 18 ein, daß von der Erfüllung der an die ideale Lupenbrille gestellten Forderung eines ebenen Feldes keine Rede ist. Das Feld der deutlich

gesehenen Objektpunkte ist merklich gekrümmt, und zwar kehrt es dem Brillenglas seine hohle Seite zu. Ist durch eine geringe Verschiebung auf das Brillenglas zu der Rand eines ebenen Objekts so eingestellt, daß er im Unendlichen abgebildet wird, so ergibt sich für jede der Mitte näher gelegene Stelle des ebenen Objekts ein virtuelles Bild, das dem Brillenglase um so näher liegt, je zentraler jene Stelle gewählt war. Ein mit Akkommodation begabtes Auge wird also — selbst bei der Benutzung einer der höheren Nummern als Lupe — die Krümmung des Feldes in gewissem Grade auszugleichen vermögen, indem es für die Mitte stärker akkommodiert.

Fig. 18.



Die Schärfenfläche einer plankonvexen Lupenbrille $D_1 = 10$ dptr in $^2/_3$ der natürlichen Größe. Die Pfeilhöhe der Schärfenfläche bei $w' = 30°$ ist 8,5 mm; bei Einstellung auf ····· liegt der Rand des Blickfeldes im Unendlichen, seine Mitte 97 cm vor F. Bei einer Akkommodationsbreite von + 1 dptr kann also das ganze Feld scharf gesehen werden.
Die ausgleichende Einstellung für presbyope Augen ist durch —·—·— angedeutet.

Da nun bis zum 60. Lebensjahre die Akkommodationsbreite 1 dptr beträgt, so folgt, daß für die meisten Lupenbrillen die soeben beschriebene Krümmung des scharf gesehenen Objektfeldes nicht schädlich ist, weil eben die Akkommodationsbreite zu ihrer Ausgleichung ausreicht. Ein Brillenträger noch höheren Alters muß sich dadurch helfen, daß er seinen brillenbewaffneten Kopf dem ebenen Objekt ein wenig nähert, wenn er seitlich gelegene Teile betrachten will.

Fragt man nun nach dem Betrage der Krümmung des Objektfeldes, so läßt sich dieser für verschwindende Hauptstrahlneigungen in aller Strenge angeben. Nach dem Coddington-Petzvalschen Gesetz ist für Objekt

und Bild in Luft die Differenz zwischen der Objektkrümmung $1/r$ und der Bildkrümmung $1/r'$, bei einem aus unverkitteten Linsen je vom Brechungsindex n zusammengesetzten System gegeben durch

$$\frac{1}{r'} - \frac{1}{r} = -\sum \frac{D}{n}$$

wobei allgemein D die Brechkraft der Linsenflächen bezeichnet, bei dünnen Linsen aber auch die Brechkraft der Linsen angeben kann. Mit letztgenannter Bezeichnung ergibt sich für eine einzelne dünne Linse D_1 vom Index n und ein ebenes Bild, wo

$$r' = \infty$$

ist, die Beziehung

$$\frac{1}{r} = \frac{D_1}{n}.$$

Die Feldkrümmung hat also bei dünnen Linsen stets einen endlichen, bei vorgeschriebenem Brechungsindex der Brechkraft proportionalen Wert, und dieser Wert der Feldkrümmung bleibt übrigens auch für endliche Hauptstrahlneigungen und endliche Linsendicken annähernd gültig, was entschieden bemerkenswert ist.

Bei der großen Bedeutung, die dieses Problem, wie oben erwähnt, auch für das einfache photographische Objektiv hat, kann es nicht Wunder nehmen, daß die hier interessierende Frage nach der Herbeiführung der Bildebenung mit einfachen Mitteln schon behandelt worden ist.

E. von Höegh (*1.*) hat 1900 darauf hingewiesen, daß man durch zweckmäßige Verfügung über die Linsendicke die Brechkraftsumme der beiden Flächen gleich Null machen und so sehr wohl der unendlich fernen Ebene ein ebenes Bild entsprechen lassen könne; er hat auch als erster ein numerisches Beispiel dafür veröffentlicht. Später hat A. König (*2. 397—399.*) eine eingehende Theorie des Höeghschen Meniskus mitgeteilt und den Weg gewiesen, der einzuschlagen ist, wenn es sich etwa nur um eine Verminderung der Bildwölbung handelte. Die Untersuchung einer solchen Annahme zeigt in Übereinstimmung mit der Bemerkung auf S. 41, daß, im Vergleich mit dem Problem der einfachen Landschaftslinse, für den vorliegenden Fall einer Brille eine Erschwerung insofern besteht, als es sich bei nicht ganz schwachen Brillengläsern stets um einen im Vergleich zur Brennweite sehr großen Blendenabstand handelt. Als Ergebnis stellt sich heraus, daß auch nur eine Annäherung an die Bildfeldebenung mittels der Linsendicke bei Sammelsystemen nach Art der Lupenbrille nicht anders möglich ist, als durch die Einführung unverhältnismäßig großer Linsendicken und damit eines unerträglich großen Gewichts. Beides kann vielleicht für gestielte Lesegläser zulässig sein, nicht aber für den Fall der Brille. Somit muß die Hoffnung aufgegeben werden, die Bildkrümmung

einer dünnen unverkitteten Lupenbrille mit sphärischen Grenzflächen wesentlich zu verbessern, denn die Erhöhung des Brechungsexponenten n kann keine große Wirkung haben, da dieser Wert wohl stets unterhalb von 1,61 wird bleiben müssen.

§ 34. Die Verzeichnung der Lupenbrillen. Erinnert man sich dessen, daß die Form der verhältnismäßig dünnen Lupenbrille mit sphärischen Grenzflächen durch die Forderung völlig bestimmt war, den Astigmatismus schiefer Büschel aufzuheben, so wird es nicht Wunder nehmen, daß die Verzeichnung nicht gleichzeitig korrigiert ist. In der Tat ist unter den angegebenen Voraussetzungen immer ein gewisser Betrag von Verzeichnung vorhanden, und zwar ist ihr Charakter leicht festzustellen, wenn man die Verhältnisse bei einer photographischen Landschaftslinse mit Vorderblende zum Vergleich heranzieht.

Es ist sicher, daß solche photographischen Landschaftslinsen alle tonnenförmig verzeichnen, d. h. daß einem objektseitigen Winkel w eine zu kleine Bildhöhe $y' = O'O'_w$ entspricht. Vergegenwärtigt man sich aber, daß die Lupenbrille im umgekehrten Strahlengange benutzt wird, so sieht man ein, daß für eine Achsenentfernung $y = OO_w$ in der Objektebene auf der Augenseite ein zu großer Winkel w' entstehen wird. Die Lupenbrillen verzeichnen also alle kissenförmig.

Die beiden Formen des Wollastonschen Kurventeils und des Ostwaltschen Zuges oder der gewöhnlichen Lupenbrillen unterscheiden sich hinsichtlich der Verzeichnung so voneinander, daß die ersterwähnten eine entschieden geringere Verzeichnungswirkung erkennen lassen. Es ist indessen die Frage, ob die durch die stärkere Durchbiegung bedingte Preisdifferenz nicht zu beträchtlich ist, um die Formen des Wollastonschen Zuges allgemeiner in Aufnahme kommen zu lassen.

Eine Korrektion sowohl auf Verzeichnung als auf Astigmatismus wird sich bei den Lupenbrillen nur dadurch erreichen lassen, daß man asphärische Umdrehungsflächen (in der Literatur der konstruktiven Optik auch als deformierte Flächen bekannt) vorsieht. Diese Möglichkeit sei hier aber nicht behandelt, weil der Verzeichnungsfehler bei Lupenbrillen keine so große Bedeutung hat, daß weitere Kreise die sehr merkbare Preiserhöhung für gerechtfertigt halten würden, die vorläufig wenigstens mit der Anfertigung asphärischer Flächen verbunden ist.

§ 35. **Die Presbyopenbrillen.** Die Presbyopenbrillen lassen sich fast vollständig im Anschluß an die Lupenbrillen behandeln. Ihre Brechkraft D_1 wird, wie auf S. 23 bemerkt, durch die von dem Augenarzt zu bestimmenden Größen b und a festgelegt.

Die Vergrößerung für endliche Hauptstrahlneigungen w muß nach

$$V_w = \frac{O'O'_w}{OO_w}$$

bestimmt werden, und der Astigmatismus schiefer Büschel ist für die Punkte einer achsensenkrechten Ebene zu bestimmen, die hier nicht durch den vorderen Brennpunkt F sondern durch einen Achsenpunkt O geht, der von dem vorderen Hauptpunkt der Presbyopenbrille den Abstand a hat.

Wesentliche Unterschiede gegen die Lupenbrille ergeben sich nicht. Bei der Berechnung eines solchen Brillenglases wählt man die Durchbiegung so, daß der endlich entfernten Objektebene eine punktuelle Bildfläche des Brillenglases entspricht, die mit der dem Werte von b entsprechenden Schärfenfläche des Auges möglichst zusammenfällt. Die Durchbiegungen, die man auf diese Weise erhält, lassen sich wieder paarig ordnen, da sie aus den beiden Wurzeln einer quadratischen Gleichung hervorgehen. Genauere Angaben darüber lassen sich ungezwungen der Stelle entnehmen (S. 50), wo über die entsprechenden Verhältnisse bei den Korrektionslinsen gehandelt wird. Hinsichtlich der Form der Bildfläche gilt auch hier, daß die deutlich gesehene Objektfläche eine Krümmung hat, die sich — wiederum für endliche Neigungen genügend genau — aus der Coddington-Petzval-schen Formel ableiten läßt, und die in der Regel durch den Rest der Akkommodation ausgeglichen werden kann. Durch diese Durchbiegung ist aber der Charakter und der Betrag der Verzeichnung bestimmt, und es sind zu deren Korrektion keine Variablen mehr verfügbar, solange man sich auf sphärische Grenzflächen und geringe Linsendicken beschränkt.

Man sieht leicht ein, daß die Presbyopenbrille zu einer Lupenbrille wird, sobald der für b angegebene Wert unendlich groß wird.

§ 36. **Die Korrektionsbrillen.** Die Angehörigen der zweiten, wichtigeren Klasse, die für ametrope Augen bestimmten Korrektionsbrillen, unterscheiden sich dadurch schon äußerlich von den Lupenbrillen, daß für sie stets ein unendlich fernes Objekt anzunehmen ist, dessen für das Sehen mit bewegtem Auge in Betracht kommende Seitenausdehnung durch einen endlichen Winkel w bestimmt wird. Ganz ähnlich wie für die schon behandelten Lupengläser lautet hier die Forderung an eine ideale Korrektionsbrille: es ist ein unter einem endlichen Winkel w erscheinender Teil der unendlich fernen Ebene durch eine möglichst dünne Linse negativer oder positiver Brennweite verzeichnungsfrei und ohne Astigmatismus schiefer Büschel auf der Fernpunktsfläche des ametropen Auges abzubilden.

§ 37. Der Astigmatismus schiefer Büschel der Korrektionsbrillen. Die nächste Aufgabe ist wiederum die, eine deutliche Abbildung herbeizuführen, und dazu ist es notwendig, den Astigmatismus schiefer Büschel aufzuheben. Läßt man die gleichen Grenzen für x' zu wie in dem

Falle der Lupenbrille auf S. 41, so variiert auch **d** entsprechend. Man muß sich dann gegenwärtig halten, daß damit Änderungen der Bildgröße auf der Netzhaut verbunden sind, deren Behandlung sich auf S. 14—16 findet. Der Grund, von dem seinerzeit als normal angegebenen Werte

$$\delta = 17{,}05 \text{ mm}; \qquad \delta - \mathbf{h} = 15{,}7 \text{ mm}$$

abzuweichen, liegt darin, daß mit steigendem Abstand des Brillenglases auch die Größe zunimmt, die sein Durchmesser erhalten muß, wenn die Hauptstrahlen für einen gegebenen Augendrehungswinkel w' noch hindurchtreten sollen. Daß aber mit dem Durchmesser das Gewicht des Glases wächst, leuchtet ein. Ferner nimmt, wie sich auch aus der später folgenden Behandlung der Verzeichnung an Korrektionsbrillen ergeben wird, die Verzeichnung ceteris paribus um so geringere Werte an, je geringer der Wert von $\mathbf{x}'$ wird. Zum Schluß kann man auch noch darauf hinweisen, daß, wie sogleich genauer gezeigt werden wird, die Grenze der deutlich abbildenden sphärischen Einzellinsen sich um so weiter in das Gebiet der höheren positiven Brechkräfte erstreckt, je näher der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen an die ihm nächste Linsenfläche heranrückt.

Gegen eine starke Verkleinerung von δ spricht nicht so sehr die Verkleinerung der Bildgröße auf der Netzhaut von Hyperopen — sie ist zu geringfügig, um in Betracht gezogen zu werden — als vielmehr der Umstand, daß die Wimpern ein zu nahe stehendes Brillenglas verunreinigen.

Ist also ein bestimmter Wert für $\mathbf{x}'$ festgelegt, so kann mit Hilfe entsprechender Vorrechnungsformeln eine Korrektion des Astigmatismus auf den Hauptstrahlen im Paraxialgebiet vorgenommen werden, denn auch hier zeigt die nachträglich vorgenommene strenge Durchrechnung, daß die in solcher Weise für dickenlose Linsen ermittelte Durchbiegung nur einer geringen Änderung bedarf, um auch für Linsengläser endlicher Dicke und für Hauptstrahlen endlicher Neigung w, w' gültig zu werden. Auf diese Weise kann man auch leicht ermitteln, daß sowohl für negative als auch für positive Brechkräfte Grenzwerte bestehen, über die hinaus der Astigmatismus schiefer Büschel durch Durchbiegung sphärisch begrenzter Einzellinsen nicht mehr gehoben werden kann. Setzt man

$$\mathbf{x}' = 30 \text{ mm},$$

so ergibt sich, sobald für Augendrehungswinkel $w' = \pm 30^\circ$ der Astigmatismus schiefer Büschel gehoben sein soll,

$$-21 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq +6\tfrac{1}{4} \text{ dptr}.$$

Um den Einfluß übersehen zu können, den die Verkleinerung von $\mathbf{x}'$ auf 25 mm ausübt, braucht man sich nur eine gleichmäßige Verkleinerung aller Ausmaße auf 25/30 vorzustellen, der also eine Erhöhung der Brechkraft auf das 1,2fache entspricht. Man erhält demnach für

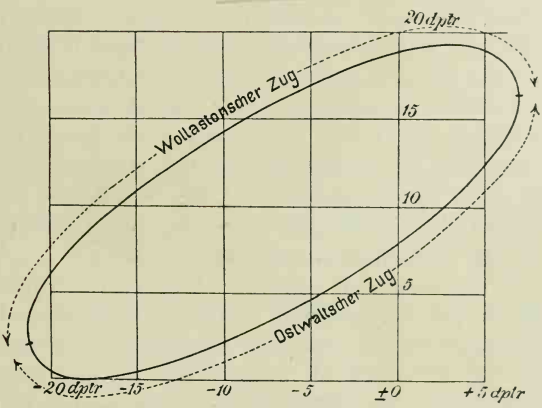
$$x' = 25 \text{ mm}$$

die Beziehung

$$-25 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq +7\,^1/_2 \text{ dptr}.$$

Innerhalb des Gebietes, wo sich der Astigmatismus schiefer Büschel mit sphärischen Linsen überhaupt korrigieren läßt, kann er, genau so wie vorher, für zwei verschiedene Durchbiegungen gehoben werden. Stellt man in einer entsprechenden Weise die Vorderradien als Funktionen der Brechkraft des Brillenglases dar, so ergeben sich zwei Teile (ein oberer und ein unterer) einer in sich zurücklaufenden Kurve. Die Gemeinschaft der stärker durchgebogenen Formen soll den Wollastonschen, die Gemeinschaft der schwächer durchgebogenen den Ostwaltschen Zug bilden. Die Gründe für diese Benennung werden sich aus der historischen Darstellung entnehmen lassen.

Fig. 19.



Die Tscherningschen Werte für den Radius der Vorderfläche umgerechnet auf die Brechkraft dieser Fläche und dargestellt als Funktion der Brechkraft D_1 des korrigierenden Brillenglases für dickenlose Linsen und $x' = 28$ mm.

In beiden Fällen ist der Astigmatismus auf Hauptstrahlen von mittlerer Neigung gering, wenn er auf solchen von der Grenzneigung

$$w' = \pm 30^0$$

gehoben worden ist, und man ist daher berechtigt, solche Linsen als punktuell abbildend oder praktisch frei vom Astigmatismus schiefer Büschel für ein Blickfeld endlicher Größe zu bezeichnen, immer vorausgesetzt, daß der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen den vorgeschriebenen, durch x' bestimmten Ort einnimmt. Ein merkbarer Vorteil kommt bei mäßiger angularer Ausdehnung des Blickfeldes in der Praxis keiner der beiden Formen in dieser Richtung zu, die man etwa die Größe der Zonen

des Astigmatismus schiefer Büschel nennen könnte. Die Rechnungsergebnisse stellen sich allerdings für die Wollastonsche Form deutlich vorteilhafter, und davon wird später bei der Konstruktion prismatischer Brillen Gebrauch gemacht werden. Für die Korrektionsbrillen wird mithin die Bequemlichkeit der Herstellung den Ausschlag geben können, so lange es sich eben nur darum handelt, daß die Abbildung eine punktuelle ist. Man wird also im allgemeinen die Ostwaltsche Form wählen, da bei ihr die längeren Radien vorkommen.

Betrachtet man den Verlauf dieses Kurventeils — beispielsweise in Figur 19 nach den von M. Tscherning (*a. 249—250.*) auf Grund der Vorrechnungsformeln angegebenen Werten dargestellt — für

$$x' = 28 \text{ mm},$$

so erkennt man, daß seine Ordinaten der Reihe nach alle Werte annehmen, die zwischen weit entfernten Grenzen liegen. Für gewisse Werte der Brechkraft der Brillengläser müssen sie also den konstanten Radien entsprechen, die nach S. 28 für die Herstellung meniskenförmiger Brillengläser in Gebrauch sind oder gewesen sind. Hierdurch rechtfertigt sich auch jene vorgreifende Aussage, daß gewisse dieser Durchbiegungen auf durchaus gute Formen führen. Man sieht aber ebenfalls ein, daß es keine einzelne Länge gibt, die, etwa als Vorderradius gewählt, stets auf ein deutlich abbildendes Brillenglas führe, vielmehr wird das Vorstehende die Erkenntnis vermittelt haben, daß der Vorderradius durch eine ziemlich verwickelte Beziehung von der Brechkraft des Brillenglases abhängt.

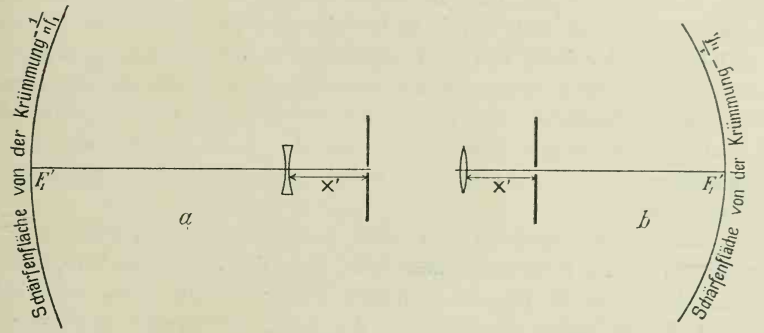
Was die Presbyopenbrillen angeht, so kann man sich über ihre Form wie folgt äußern. Für den praktisch wichtigsten Objektabstand von 0,3 m liegt der Kurvenzug für die schwächer durchgebogenen Formen von dem Ostwaltschen Zug etwas entfernt, während man bei dem Wollastonschen Zug für Brillen gleicher Brechkraft fast genau die gleichen Formen erhält, wie bei unendlich entferntem Objekt. Der technische Optiker würde sagen, die Fernbrillen Wollastonscher Art sind für eine Variation des Objektabstandes sehr unempfindlich, während die der Ostwaltschen bei einer großen Objektverschiebung doch schon Abweichungen von der punktuellen Abbildung in schiefen Büscheln erkennen lassen.

§ 38. Die Form der Bildfläche bei Korrektionsbrillen. Wenn bei den Lupenbrillen untersucht werden mußte, wie die einem unendlich fernen ebenen Bilde entsprechende Objektfläche von der tatsächlich vorliegenden Objektebene abwich, so würde eine Untersuchung auf Bildebenung für Korrektionsbrillen ganz zwecklos sein. Im Gegenteil ist hier festzustellen, wie die Bildfläche, die nach dem Durchgang der von der unendlich fernen Objektebene stammenden Strahlen durch das Brillenglas auf der Augenseite entsteht, von der Fernpunktsfläche des Auges abweicht. Sind

die Abweichungen gleich Null, d. h. fallen die Bildfläche der Brille und jene Fernpunktsfläche des Auges zusammen, so erhält das bewegte Auge offenbar für endliche, unter einer gewissen Grenze bleibende Drehungswinkel ein wirkliches, d. h. punktweise das Objekt repräsentierendes Bild von den gerade fixierten Teilen der unendlich fernen Objektebene.

Im allgemeinen wird das nun nicht der Fall sein, wie man aus der folgenden Überlegung sieht, die zunächst für dickenlose Linsen gilt, infolge des weiten Geltungsbereichs der längs Hauptstrahlen im paraxialen Gebiet

Fig. 20.



Schematische Darstellung der Lage von Schärfen- oder Bildfläche und Blende mit dem Abstand x' für eine zerstreuende sammelnde Korrektionsbrille mit deutlichem Blickfelde.

erreichten astigmatischen Korrektion aber auch auf die Gläser endlicher Dicke übertragen werden kann. Nach dem Coddington-Petzvalschen Theorem ist der Krümmungsradius der Bildfläche der unendlich fernen Objektebene in der Nähe des Brennpunkts gegeben durch $-nf_1$, und man erhält, wie man aus den beiden für Zerstreuungs- und für Sammellinsen geltenden Figuren 20a und b ersieht, die Beziehung dafür, daß Fernpunktsfläche des Auges und Bildfläche der Linse zusammenfallen:

$$x' - f_1 = -nf_1; \qquad f_1 = -\frac{x'}{n-1}.$$

Für den vornehmlich behandelten Fall ist

$$x' = 30 \text{ mm}; \qquad n = 1{,}52$$

mithin

$$f_1 = -57{,}7 \text{ mm}; \qquad D_1 = -17{,}3 \text{ dptr}.$$

Die Fernpunktsfläche des Auges kann also mit der Bildfläche des Brillenglases nur dann zusammenfallen, wenn es sich um ungewöhnlich hohe Myopiegrade handelt. Dieses Ergebnis hat leider keine besonders große praktische Bedeutung, weil so stark kurzsichtige Augen in der Regel

keine besonders hohe Sehschärfe haben, den Vorteil der gleichmäßigen Schärfe also auch nicht vollständig zu würdigen vermögen.

Alle andern punktuell abbildenden Brillengläser zeigen eine nach dem Rande immer wachsende Abweichung der Bildfläche des Brillenglases von der Fernpunktsfläche des Auges, und diese Abweichung tritt hier an die Stelle der Bildfeldkrümmung bei Lupenbrillen. Sie ist um so beträchtlicher, je mehr die Brechkraft des Brillenglases von jener großen negativen Brechkraft verschieden ist, also bei Sammel- größer als bei Zerstreuungslinsen. Durch zweckmäßige Wahl der Brennweite des Korrektionsglases könnte man es dahin bringen, daß die Abweichungen besser über das Blickfeld verteilt wären, und zwar würde es herbeigeführt werden können, daß sich die Bildfläche der Brille und die Fernpunktsfläche des Auges in einem Kreise schnitten, der einem Neigungswinkel zwischen der Mitte und dem Rande des Blickfeldes entspräche. Die Tiefe der Schärfe würde dann auch bei akkommodationsunfähigen ametropen Augen die noch vorhandenen Abweichungen um so geringer erscheinen lassen, je gröber die wahrzunehmenden Objekte wären.

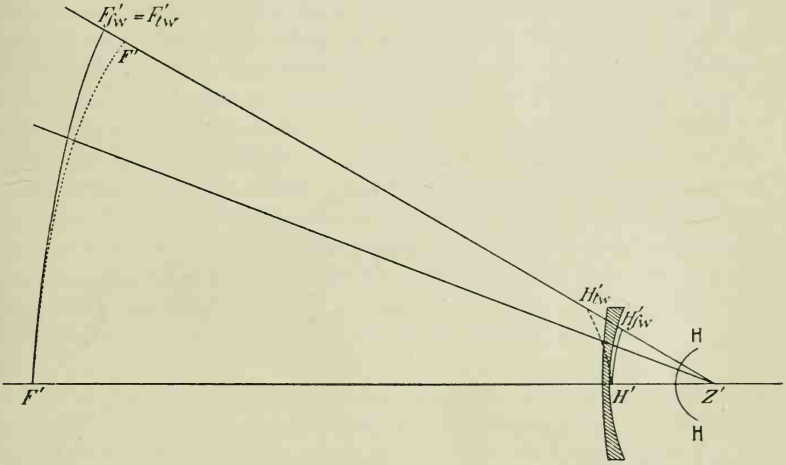
Eine solche Korrektion aber hätte nur bei Aphakie in Fällen außerordentlich großer Sehschärfe einen Sinn, denn der Radius der Fernpunktsfläche des Auges ist bei den praktisch vorkommenden Fällen numerisch kleiner als der Radius der Bildfläche der Brille. Der Hypermetrop braucht also nur bei peripherer Blickrichtung etwas zu akkommodieren (bei $x' = 25$ mm, $n = 1{,}52$, $D_1 = 7{,}5$ dptr und $w' = 30^\circ$ ist nur ein Akkommodationsbetrag von 0,5 dptr nötig), was ohne Nachteil ist. Der Myop dagegen ist bei absoluter Korrektion für die Ausgangsstellung $w' = 0$ für periphere Blickrichtungen nur sehr unbedeutend unterkorrigiert (bei $x' = 25$ mm, $n = 1{,}52$, $w' = 30^\circ$ beträgt die Unterkorrektion für $D_1 = -5$ oder -10 dptr nur 0,17 oder 0,23 dptr), was wiederum einesteils ohne Nachteil wäre, anderenteils durch Überkorrektion auf der Achse ausgeglichen werden kann.

Bevor die Verzeichnung dieser Korrektionsgläser behandelt wird, soll aber ein Abschnitt eingeschaltet werden, der dem früheren entspricht, wo die Verbindung des ruhenden Auges mit der axial benutzten Brille behandelt worden war.

§ 39. Auge und Korrektionsbrille bei schiefer Blickrichtung. Hier sei stets der Fall angenommen, daß der Astigmatismus der schiefen Büschel für ein bestimmtes x' beseitigt sei, mithin auf jedem Hauptstrahl innerhalb eines gewissen Grenzwinkels beide Fokalpunkte in einen Brennpunkt zusammenfielen. Wenn damit auch für einen solchen Punkt die Forderung der punktuellen Abbildung erfüllt ist, so kann man doch nicht annehmen, daß sich ein solcher Brennpunkt F'_w genau so

verhalte wie der Hauptbrennpunkt F'' auf der Achse. Es ist doch denkbar, daß den beiden Hauptschnitten trotz gleicher Schnittweite zwei verschiedene Brennweiten zukämen[1]), etwa f_{sw} und f_{tw}, da nämlich die Hauptpunkte in den beiden Hauptschnitten nicht an denselben Ort fielen, eine Lageneigentümlichkeit, die für die Achse selbst ausgeschlossen ist. Hat man die astigmatische Rechnung mit den strengen Formeln ausgeführt, so bietet die Analysis die Mittel, die Länge der Brennweiten festzustellen, und es sei hier noch darauf hingewiesen, daß A. Gullstrand (2.) auch die Dioptrienrechnung so weit ausgebaut hat, daß man diese Brennweiten in den

Fig. 21.



Die Lage der hinteren Hauptpunkte eines zentrisch benutzten punktuell abbildenden Brillenglases von — 6 dptr für sagittale und tangentiale Büschel bei schiefer Blickrichtung.
$F' \ldots F''$ Fernpunktskugel des myopischen Auges.
$F' - F'_{sw} = F'_{tw}$ Bildfläche des Brillenglases.

beiden Hauptschnitten ermitteln kann, wenn man den betreffenden Hauptstrahl durch das System hindurch verfolgt hat. Keines dieser Formelsysteme soll an dieser Stelle mitgeteilt werden; das hier benutzte ist von

---

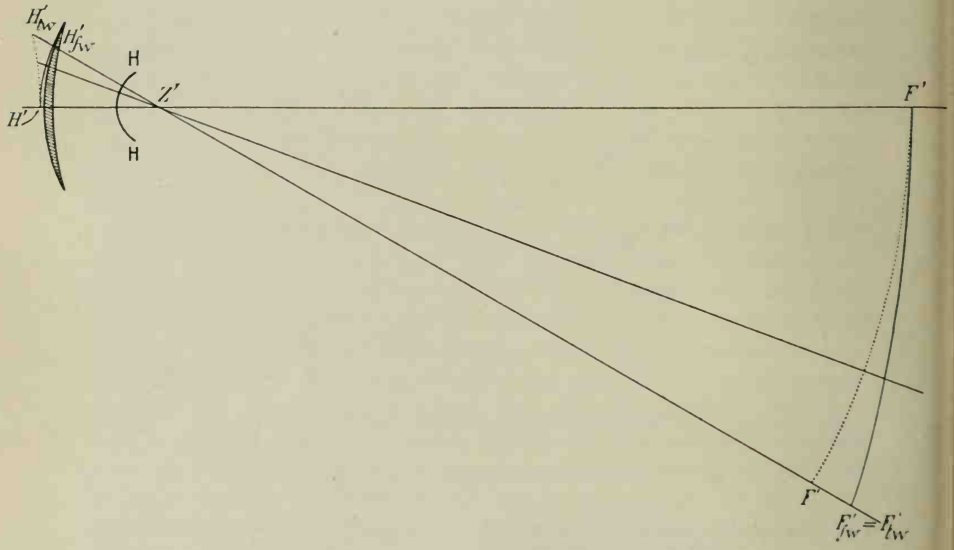
1) Die Verschiedenheit gegenüber einem engen axialen Büschel läßt es angezeigt erscheinen, für die Strahlenvereinigung in solchen von Astigmatismus freien Brennpunkten auf Hauptstrahlen von endlicher Neigung einen besonderen Namen zu verwenden. A. Gullstrand (*1.*) schlug dafür 1891 den Ausdruck quasihomozentrisch vor, gab ihn aber später, zugunsten der in der konstruktiven Optik gebräuchlichen Bezeichnung anastigmatisch auf. Die zunächst unschön erscheinende Bildung mit doppeltem *a privativum* erweist sich doch als zweckmäßig, da durch anastigmatische Strahlenvereinigung die Eigenschaften des axialen Büschels in achsensymmetrischen Systemen nicht erworben werden.

P. Culmann (*I. 174.*) angegeben worden. Hier sind für zwei Formen des Ostwaltschen Zuges

$$D_1 = -6 \text{ dptr}; \qquad D_1 = +4 \text{ dptr}; \qquad x' = 30 \text{ mm}$$

die Elemente ermittelt worden, um die nebenstehenden Zeichnungen 21 und 22 entwerfen zu können. Beachtet man, daß der vordere Augenhauptpunkt **H** bei allen möglichen Drehungen des Auges um den fest angenommenen Drehungsmittelpunkt Z' eine Kugelkappe beschreibt, so wird

Fig. 22.



Die Lage der hinteren Hauptpunkte eines zentrisch benutzten punktuell abbildenden Brillenglases von + 4 dptr für sagittale und tangentiale Büschel bei schiefer Blickrichtung.
$F' \ldots F'$ Fernpunktskugel des hyperopischen Auges.
$F' - F'_{fw} = F'_{tw}$ Bildfläche des Brillenglases.

klar, daß sie im Meridianschnitt durch einen Kreisbogen dargestellt wird, dessen Radius

$$(13 - 1{,}35) \text{ mm} = 11{,}65 \text{ mm}$$

beträgt. Für H'_{tw} und H'_{fw} erhält man in jedem der beiden Beispiele zwei Kurvenspuren, die beide zwar von H' ausgehen, aber für endliche Drehungswinkel ganz verschiedene Krümmungen erkennen lassen. Während die Hauptpunkte H'_{fw} der sagittalen Büschel auf Kurven liegen, die je nur wenig von einem zu Z' konzentrischen Kreise abweichen, läßt die Kurve der H'_{tw} eine Krümmung von entgegengesetztem Zeichen erkennen. Daraus ergeben sich selbstverständlich für δ in den schiefen Büscheln andere

Werte als in dem axialen und in den sagittalen Büscheln andere Werte als in den tangentialen. Man ist nunmehr imstande, die Formeln für die Zusammensetzung von Systemen nach S. 13 anzuwenden, doch wird es hier genügen, sich auf die Bestimmung der Brechkraft D_{12} zu beschränken. Man weiß ja bereits aus dem Vorhergehenden, daß die Bildpunkte F'_w der schiefen Büschel dem Auge in demselben Zustande, in dem es F' scharf sieht, nicht deutlich erscheinen können, und die Ermittlung des den hinteren Hauptpunkt $\mathbf{H}'$ bestimmenden Wertes $n\mathbf{H}'_{12}$ würde nur die Bedeutung haben, die Einstellungsdifferenz bei schiefer Blickrichtung festzustellen. Die Größe der Brechkraft D_{12} ist indessen von einem gewissen Interesse, da man damit die Bildgröße berechnen kann, mit der ein tangentiales Objektelement im tangentialen Hauptschnitt und ein sagittales im sagittalen wiedergegeben wird. Aus der soeben beschriebenen Sachlage ergibt sich, daß diese Größen voneinander verschieden sind. Ist das Objekt etwa ein kleiner zur Achsenrichtung senkrechter Kreis, der beispielsweise ziemlich hoch über dem beobachtenden Auge steht, also, wie es etwa Figur 23 darstellt, mit schiefer Richtung von unten nach oben durch ein zentrisch benutztes Brillenglas betrachtet wird, so erscheint er durch eine punktuell abbildende Brille betrachtet immer elliptisch, und zwar als eine gedrückte, breite Ellipse durch ein Zerstreuungsglas, als hochstehende schmale Ellipse durch ein sammelndes Brillenglas. Man erkennt, daß es sich hier um eine Folgeerscheinung der Verzeichnung beim schiefen Durchblick handelt, doch soll darüber genauer im nächsten Abschnitt gesprochen werden.

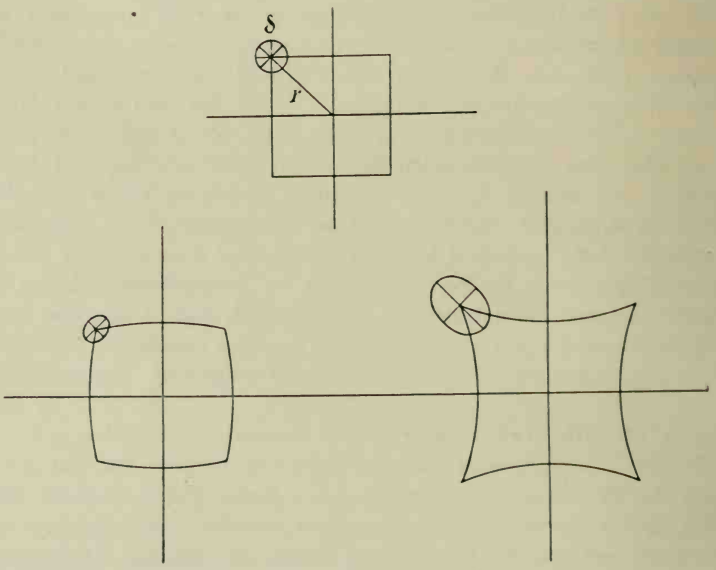
§ 40. Die Verzeichnung bei Korrektionsbrillen. Die oben auf S. 35—37 angegebene Darstellung der Verzeichnung läßt sich natürlich auch auf Korrektionsbrillen anwenden. Dieser Fehler schiefer Büschel wird alsdann durch das Brillenglas allein bestimmt, ohne daß eine andere Rücksicht auf das Auge genommen würde, als daß der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen an einem dem Augendrehpunkte zugänglichen Achsenorte angenommen würde.

Berücksichtigt man, daß nunmehr das Objekt in großer Entfernung liegt, und wertet man die oben angegebenen Formeln nach einer entsprechenden Abänderung aus, so ergibt sich, daß Zerstreuungslinsen eine nach dem Rande zunehmende tonnenförmige, Sammellinsen eine in gleicher Art wachsende kissenförmige Verzeichnung eines quadratischen Objekts ergeben.

Die Formen des Wollastonschen und des Ostwaltschen Zuges unterscheiden sich dadurch voneinander, daß die ersterwähnten eine um so schwächere Verzeichnung haben als die letzten, je stärker sie durchgebogen sind als diese. Daraus folgt schon, daß gegen die Grenzwerte der Glasbrechkräfte hin, wo sich die beiden Kurventeile mehr und mehr nähern.

der Unterschied zwischen beiden Formen hinsichtlich der Verzeichnung nur gering ist. Ob der bei mittleren Brechkräften unbestreitbare Vorteil der Wollastonschen Formen groß genug ist, um eine Einführung zu erzwingen, läßt sich nicht voraussagen. Als hindernd steht im Wege der durch die stärkeren Krümmungen verursachte höhere Preis und ferner auch wohl die auffälligere Form. Es sei darauf hingewiesen, daß bei der gebräuchlichen elliptischen Randform der Schnitt zwischen einer Kugeloberfläche und einem geraden elliptischen Zylinder, der immer eine Raumkurve sein

Fig. 23.



Schematische Darstellung der Erscheinungsform eines exzentrisch angenommenen Kreises bei tonnenförmiger kissenförmiger Verzeichnung zur Erklärung des Aussehens entsprechender Objekte bei ruhiger Augenhaltung in Seitenteilen des Blickfeldes.

muß, um so deutlichere Abweichungen von einer ebenen Kurve zeigen wird, je kürzer der Kugelradius ist. Da diese Form des Randes ungewohnt ist, so wird sie häufig als unschön angesehen.

Handelt es sich jetzt darum, die soeben beschriebene Erscheinungsform der Verzeichnung mit jener in Zusammenhang zu bringen, die bei der Verbindung des ruhenden Auges mit dem im schiefen Durchblick benutzten Brillenglase besprochen worden war, so ist der Unterschied ein rein formaler. Bei der üblichen Behandlung der Verzeichnung werden endliche Objektstrecken auf den Größenmaßstab ihrer Wiedergabe unter-

sucht, und die Fehlerbestimmung läßt die Krümmung aller Geraden angeben, die nicht durch die Mitte des Blickfeldes gehen. Es ist das auch genau die Erscheinungsform, die man für diesen Fehler feststellt, wenn man einer im seitlichen Teile des Blickfeldes liegenden Kante mit dem Blicke folgt. Beim Sehen mit ruhendem Auge dagegen wird nur ein kleiner exzentrischer Teil des Feldes deutlich wahrgenommen, und dafür ist die Erscheinungsform dieses Bildfehlers ganz verschieden.

Ist ein achsensenkrechtes Element, etwa ein kleiner Kreis, exzentrisch angenommen, so werden für die Abbildung durch schiefe Büschel die beiden Durchmesser in Betracht kommen, die in die tangentialen und sagittalen Hauptschnitte fallen. Sie seien in der Figur 23 in der angegebenen Weise kenntlich gemacht. Was nun die Wiedergabe durch die Linse angeht, so ist die Vergrößerung des Durchmessers im sagittalen Hauptschnitt offenbar gegeben durch den Abstand r des Kreiszentrums von der Mitte des Blickfeldes, und es handelt sich da bei Zerstreuungslinsen um eine zu starke Verkleinerung, bei Sammellinsen um eine zu starke Vergrößerung. Bei der Wiedergabe des im tangentialen Hauptschnitte gelegenen Durchmessers liegt aber ein viel verwickelterer Vorgang vor. Für den Maßstab, in dem sich dieser Durchmesser 2δ im Bilde darstellt, ist offenbar die Vergrößerungsänderung maßgebend, die zwischen $r + \delta$ und $r - \delta$ vor sich geht. Eine nähere Überlegung zeigt, daß diese Maßstabsänderung in dem vorliegenden Falle zwar den gleichen Charakter aber einen höheren Betrag haben wird als die auf r wirkende, d. h. bei Zerstreuungslinsen wird der tangentiale Durchmesser eines exzentrischen Flächenelements wesentlich stärker verkleinert, bei Sammellinsen wesentlich stärker vergrößert als der sagittale. Es steht das vollständig in Übereinstimmung mit dem Ergebnis jener Rechnung, die auf S. 55 erwähnt worden war. Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sich diese Darstellung der Verzeichnung exzentrisch liegender achsensenkrechter Figuren auf die achsensenkrechte Schirmebene bezieht. Aus ihr lassen sich leicht die Gesichtswinkel im Raum entnehmen, die für das Auge gelten, dessen Drehungszentrum in dem (nicht gezeichneten) Punkte Z' liegt, und das in schiefer Richtung auf die kleine Ellipse blickt.

Über die Möglichkeit, sphärische Linsen allein auf Verzeichnung zu korrigieren, soll hier nicht gehandelt werden. Obwohl man im Laufe der Zeit solche Vorschläge gemacht hat, erscheint es doch zweckmäßig, daran festzuhalten, daß man erst deutlich sehen muß, bevor man an die Hebung des Verzeichnungsfehlers gehen kann.

§ 41. **Besondere Formen der punktuell abbildenden Brillen.** Im Laufe der Zeit ist man zur Anfertigung komplizierterer Formen von punktuell

abbildenden Brillen gekommen, sei es, daß in bestimmten Fällen die Aufhebung des Astigmatismus schiefer Büschel allein die Aufwendung reicherer Mittel erforderte, sei es, daß man — beispielsweise bei den Fernrohrbrillen — die Konstruktion von vornherein komplizierter anlegen mußte. Im letzten Falle war man wohl bestrebt, die in der Anlage gegebenen Konstruktionsmöglichkeiten zur gleichzeitigen Beseitigung mehrerer Fehler schiefer Büschel auszunutzen.

§ 42. Punktuell abbildende Starlinsen mit sphärischen Grenzflächen. Nach der Seite 49 ist klar, daß eine Herstellung einfacher sphärischer Brillengläser punktueller Abbildung für hohe positive Werte der Brechkraft nur möglich ist, wenn der Augendrehpunkt in einer für den regelmäßigen Gebrauch unzulässigen Weise dem Brillenglase genähert wird. Hierunter fallen alle Starbrillen, die nach der Linsenentfernung für Augen verordnet werden müssen, die früher emmetropisch oder gar hypermetropisch waren. Wenn es sich nun darum handelt, auch solchen Patienten deutliche Bilder für ein endliches Blickfeld unter Beschränkung auf sphärische Grenzflächen zu ermöglichen, so ist dazu eine Steigerung der optischen Mittel unerläßlich.

Die nächste Möglichkeit bietet sich in der Erhöhung der Linsenzahl von einer auf zwei, wie das von M. von Rohr (*6. 9.*) 1908 behandelt worden ist. Und in der Tat ist man mit diesem Mittel imstande, auch für Brechkräfte von

$$D_1 \leqq 12 \text{ dptr}; \qquad x' = 26 \text{ mm}$$

eine Korrektion des Astigmatismus endlich geneigter Büschel zu erreichen, aber man hat keine Mittel, um ein solches Brillenglas auch noch von der Verzeichnung zu befreien. Die Verzeichnung ist bei solchen Konstruktionen wohl etwas geringer, aber das bietet nicht ihren Hauptvorteil; der ist vielmehr eben in der durch dieses Mittel erreichten unvergleichlich besseren Abbildung bei schiefer Blickrichtung zu suchen. Die Zonen des Astigmatismus schiefer Büschel sind ebenso, wie bei den punktuell abbildenden Einzellinsen bemerkenswert gering, und die Abweichung von der Fernpunktsfläche des Auges hat ebenfalls den bereits auf S. 52 beschriebenen Charakter. Bei Starlinsen noch höherer Brechkraft gelingt auch die strenge Hebung des Astigmatismus schiefer Büschel nicht mehr, doch ist es möglich, die astigmatischen Fehlerreste auf einen so geringen Betrag herabzubringen, daß sie praktisch ohne Bedeutung sind.

Als nachteilig kommt bei dieser Konstruktion die Gewichtserhöhung in Frage, da bei den beiden Sammellinsen doch ein gewisser Randwert der Dicke zugelassen werden muß, um sie überhaupt anfertigen zu können. Die Einrichtung für eine elliptische Fassung ist ebenfalls nicht ohne Schwierigkeit, da die richtige Form des Metallrandes bei den beiden stark durch-

gebogenen Linsen nach dem Vorhergehenden die Bestimmung von vier Raumkurven erfordert.

§ 43. Asphärisch-sphärische Starbrillen (Gullstrandsche Starbrillen). Schon früher sind die deformierten oder asphärischen Flächen erwähnt worden, und es wird sich empfehlen, hier etwas näher auf ihre Natur einzugehen und ihre Wirkung kurz zu beschreiben.

Die Kugelfläche hat die Eigenschaft, daß ihre Flächenkrümmung an jedem Punkte denselben Wert hat, und daß die beiden Hauptkrümmungen in einem beliebigen Punkte einander gleich und gleich dem Reziproken des Kugelradius sind

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} = \frac{1}{r_s}.$$

Setzt man nun einmal den Fall einer sphärischen Linse von der Brechkraft + 11 dptr, so ist nach dem Vorhergehenden auf S. 49 keine Möglichkeit vorhanden, auf Hauptstrahlen endlicher Neigung den Astigmatismus aufzuheben, wenn $\mathfrak{x}'$ eine genügende Größe behalten soll, damit der Augendrehpunkt mit Z' zusammenfallen könne. Ist aber der Astigmatismus schiefer Büschel nicht gehoben, so gilt für die letzten Schnittweiten in den beiden Hauptschnitten

$$t' \gtrless s'.$$

Könnte man nun an Stelle der Kugelfläche eine ihr sehr nahe liegende Fläche bringen, bei der abweichend von der Kugelfläche wäre

$$\frac{1}{r_t} \gtrless \frac{1}{r_s},$$

so wäre die Möglichkeit gegeben, den Astigmatismus schiefer Büschel auch bei Sammellinsen von hoher Brechkraft unter den oben festgesetzten Bedingungen zu heben.

Eine solche Fläche läßt sich, wie in Figur 24, durch die Vorschrift definieren, die Kugelfläche, von der man ausgeht, solle durch eine regelmäßige Verlängerung oder Verkürzung des Kugelradius verändert werden, und zwar sei der Betrag σ der Auf- oder Abtragung für jede Kugelzone gegeben durch

$$\sigma = \varkappa l^4$$

wo $\varkappa$ eine Konstante und l die vom Scheitel S gemessene Bogenlänge der Kugelzone sei.

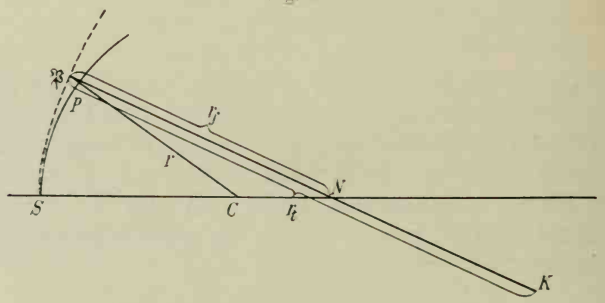
Man sieht aus der Zeichnung, die eine regelmäßige Auftragung voraussetzt, daß sich die neue Fläche zuerst langsam, dann schneller und immer schneller von der Ausgangskugel entfernt. In einem beliebigen Punkte $\mathfrak{P}$ ist aber natürlich die Richtung des Radius PC nicht mehr die Richtung der Normalen für die neue Fläche, sondern diese weicht in einer solchen

Weise von PC ab, wie es das Vorhandensein einer geringeren Flächenkrümmung in $\mathfrak{P}$ vorschreibt. Die beiden Hauptkrümmungsradien sind dann voneinander verschieden, und zwar reicht r_f von $\mathfrak{P}$ bis zum Schnitt N der Normalenrichtung mit der Achse, während in dem vorliegenden Falle r_t einen längeren Wert erhält, so daß für die absoluten Längen die Ungleichung gilt

$$r_t > r_f > r.$$

Damit ist aber die oben gewünschte Verschiedenheit der Krümmungsradien in den Hauptschnitten erreicht, und zwar geschah das durch die Einführung einer neuen Variablen, des Deformationskoeffizienten z.

Fig. 24.



Schematische Darstellung einer asphärischen (durch Auftragung deformierten) Rotationsfläche.
$P\mathfrak{P} = o$.
$\mathfrak{P}N$ die Normale der asphärischen Fläche.

Es läßt sich nicht leugnen, daß diese Einführung von z auf eine etwas willkürliche Art zustande gekommen ist. A. Gullstrand (*4. 961—962.*) kam entsprechend seiner ganz allgemein angelegten Theorie in anderer Weise zu einer Behandlung der Umdrehungsflächen. Er definiert die allgemeine Umdrehungsfläche in der nächsten Umgebung des Pols durch den Abflachungswert Φ. Bestimmt man nämlich den Meridianschnitt der Umdrehungsfläche zweiten Grades, die mit der vorliegenden Umdrehungsfläche im Scheitel eine Berührung vierter Ordnung eingeht, so läßt sich Φ aus den Achsen dieses Kegelschnittes berechnen.

Zwischen den beiden Definitionskonstanten besteht der einfache Zusammenhang, wie A. Gullstrand ebendort gezeigt hat, daß

$$\Phi = 24\,z$$

gilt.

Ganz allgemein soll nach dem Ophthalmologen, der (*7.*) zuerst im Interesse der Gewichtsverminderung von Starlinsen eine Korrektion des Astigmatismus schiefer Büschel durch eine asphärische Fläche vorschlug, ein asphärisch-sphärisches Brillenglas als eine Gullstrandsche Linse bezeichnet werden.

Läßt man die Möglichkeit zu, daß eine der beiden achsensymmetrischen Grenzflächen eine asphärische sei, so hat man in der Abweichung von der Kugelfläche und in der Durchbiegung[1]) der ganzen Linse zwei Variable zur Verfügung. Diese reichen aus, um entweder bei vorgeschriebener Linsenform (geringer Durchbiegung) den Astigmatismus schiefer Büschel allein zu heben oder um sowohl den Astigmatismus schiefer Büschel als auch die Verzeichnung bei endlichen Hauptstrahlneigungen zum Verschwinden zu bringen, wobei allerdings dann die Durchbiegung einen ziemlich hohen Wert annehmen kann.

Vor den oben beschriebenen Doppelstargläsern hat ein solches System neben dem eigentlichen der besseren Korrektion noch den Vorzug, eine einfache Linse zu sein. Es ist infolgedessen leichter, läßt sich bequemer fassen und erfordert schließlich keine so subtile Behandlung. Man ist ferner von der optischen Dichte des Glasmaterials ganz unabhängig und kann das gewöhnliche Spiegelglas wählen.

Man kann natürlich auch Korrektionslinsen von beliebiger Brechkraft und beliebigem Vorzeichen als Gullstrandsche Linsen herstellen und sie mittels der asphärischen Fläche nicht nur auf Verzeichnung sondern auch auf Astigmatismus im endlichen Blickfelde korrigieren. Es fragt sich natürlich auch hier immer wieder, ob auf die Brillenträger der höhere Preis und die stärkere Durchbiegung nicht abschreckend wirken, so daß sie sich an der punktuellen Abbildung genügen lassen, die ihnen durch die gewöhnlichen sphärischen Korrektionslinsen, sei es Wollastonscher oder Ostwaltscher Form, gewährleistet wird.

§ 44. Die Fernrohrbrillen für stark kurzsichtige Augen. Zu dem auf Seite 29 erwähnten Vorteil dieses Typus, der sich bei der Behandlung des Sehens in der Richtung der Achse herausstellte, kommt für das Sehen mit bewegtem Auge noch der weitere, daß sich hier für ein endliches Blickfeld sowohl Astigmatismus schiefer Büschel als Verzeichnung heben lassen. Der Grund dafür liegt darin, daß man in der Durchbiegung jeder der beiden Linsen, in dem Abstand zwischen ihnen und in der Verteilung der Brechkraft unter sie Mittel genug hat, um diese beiden Fehler für ein ziemlich großes Blickfeld

$$2w \leqq 30^\circ$$

zu heben. Es wird zweckmäßig sein, die Brennweite f_1 einer solchen Fernrohrbrille möglichst viel länger zu machen als ihre Schnittweite s_1', weil

[1]) Von einer Durchbiegung kann man auch hier noch sprechen, wo eine der Flächen asphärisch ist, weil die bei der Durchbiegung in Betracht kommende Brechkraftsumme nur Werte enthält, die längs der Achse gelten, und dafür hat man die Krümmung der deformierten Fläche durch die Krümmung der Ausgangskugel zu ersetzen.

man damit die Vergrößerung des Bildes auf der Netzhaut steigert. Wenn man an den nahen Zusammenhang denkt, der nach S. 57 zwischen der Verzeichnung und der Lage der Hauptpunkte (H'_{tw}, H'_{fw}) schiefer Büschel bestand, so wird man bei einer auf Verzeichnung korrigierten Fernrohrbrille erwarten dürfen, daß die Hauptpunkte der schiefen Büschel hier mit wachsender Hauptstrahlneigung nicht ständig auseinander rücken. In dieser Erwartung wird man auch nicht getäuscht, und es ist zu bedauern, daß sich diese Verhältnisse nicht für die Wiedergabe durch eine Zeichnung in natürlichem Maßstabe eignen. Beschreibt man aber die Lage der Hauptpunkte schiefer Büschel, so liegen sie für die in der Figur 10 dargestellte Fernrohrbrille fast innerhalb des ganzen Blickwinkels enge zusammen und trennen sich erst am äußersten Rande des Blickfeldes. Die Kurven für H'_{tw} und H'_{fw} haben aber einen andern Charakter wie bei der einfachen Linse: sie durchschneiden sich nahe am Rande, weil hier Zonen der Verzeichnung auftreten, die sich der großen Brechkraft der Einzelbestandteile entsprechend fühlbar machen. Ganz allgemein ist auf die Zonen bei Fernrohrbrillen M. von Rohr (*13.* 577—578.) zu sprechen gekommen.

Der Vorteil, den eine solche Fernrohrbrille ihrem Träger bringt gegenüber dem ein holländisches Fernrohr entsprechender Vergrößerung benutzenden Myopen, liegt hauptsächlich in der Vereinfachung der Konstruktion, der dadurch bedingten Gewichtsersparnis sowie der Möglichkeit, die Fernrohrbrille dauernd vor dem Auge anbringen zu können. Ein weiterer Vorzug, daß nämlich die Vergrößerung des Netzhautbildchens ohne wesentliche Veränderung der Blickwinkel w erfolgen kann, liegt auf dem Gebiete der Raumerfüllung und kann erst später besprochen werden.

In der bereits zitierten Arbeit hat M. von Rohr von den verschiedenen Vergrößerungen gesprochen, die in der ophthalmologischen Praxis von Fernrohrbrillen verlangt werden. Aus den Kurvendarstellungen, die sich an der angegebenen Stelle finden, läßt sich der Schluß ziehen, daß die Ausdehnung des Blickfeldes und die Freiheit von Zonen, sei es der Verzeichnung, sei es des Astigmatismus schiefer Büschel, rasch zunimmt, wenn es sich um eine niedere Vergrößerung handelt. Es wird sich daher empfehlen, mit der Vergrößerung des Netzhautbildes sparsam zu sein, wenn regelmäßig zu tragende Fernrohrbrillen in Frage kommen. Eine nach dem Vorgang von E. Hertel (*2.*) dafür häufig verordnete Vergrößerungszahl ist $V = 1{,}3$; dabei ergeben sich große, $2w = 40°$ übersteigende Blickfelder. Für spezielle Zwecke, z. B. im Theater und in Gemäldesammlungen, wo kein so großes Feld notwendig ist, können stärker vergrößernde Instrumente, etwa $V = 1{,}8$, in Betracht kommen, und der Verfasser hat in der neuesten Zeit versucht, solche Vorkehrungen auch Augen mit geringerer Ametropie anzupassen. Allerdings wird es sich dann in den meisten Fällen aus kosmetischen Gründen um eine Lorgnette anstatt einer Brille handeln.

Die Brillen mit mehreren Brennweiten.

§ 45. **Die Vorhängebrillen.** Die Problemstellung für diese Konstruktionen ist leicht aus dem früheren zu entnehmen. Man wird zuerst die ständig zu tragende Brille so durchbiegen, daß sie anastigmatisch für schiefe Büschel wird. Danach ist das Vorhängeglas, dessen Brechkraft nach den Besonderheiten des Falles vom Augenarzt verordnet wird, ebenfalls so durchzubiegen, daß der Astigmatismus schiefer Büschel verschwindet. Dabei hat als Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen das in der Regel mit sphärischer Aberration behaftete scheinbare Drehungszentrum des mit der ständig zu tragenden Brille bewaffneten Auges zu dienen.

Die Erfüllung dieser Bedingungen für beide Komponenten macht keine Schwierigkeiten, vorausgesetzt, daß die beständig zu tragende Brille kein Sammelglas von besonders hoher Brechkraft ist, oder daß aus anderen Gründen das scheinbare Drehungszentrum der ständig zu tragenden Brille nicht in eine allzu große Entfernung von ihrem vorderen Scheitel rückt.

§ 46. **Die Bifokalbrillen.** Die große praktische Bedeutung dieser Form von Brillen mit mehreren Brennweiten hat eine ganze Reihe von Möglichkeiten der Verwirklichung geschaffen. Sie sollen hier nach der Anzahl der optisch bearbeiteten Grenzflächen geschieden werden.

Bifokalbrillen mit vier optisch bearbeiteten Grenzflächen. (Franklinsche Bifokalbrillen.) Nimmt man bei den Bifokalbrillen Rücksicht auf den Augendrehpunkt, so ergibt sich als erste Möglichkeit der Konstruktion die mechanische Verbindung von zwei Brillengläsern geeigneter Brechkraft. Ihre Ränder müssen Halbellipsen sein, die mit ihren langen Achsen zusammenstoßen, und die optischen Achsen dieser beiden Teile bilden, wenn sie nicht zusammenfallen, nur einen kleinen Winkel miteinander, damit an der Trennungslinie eine prismatische Wirkung nach Möglichkeit vermieden wird.

Gegen die optische Leistung einer solchen Anordnung ist nicht viel einzuwenden, wenn die sie bildenden Hälften punktuell abbildende Brillengläser sind; dagegen läßt sich ihr Äußeres kaum gefällig gestalten, und man hat sich wohl ganz und gar von dieser Konstruktionsidee abgewandt.

§ 47. Bifokalbrillen mit zwei optisch bearbeiteten Grenzflächen. Macht man die Voraussetzung, es gelänge, zwei nebeneinander angeordnete Scheiben aus Kronglas von verschiedenem Exponenten mit ihren Trennungsflächen zu verschmelzen, so würden zwei optisch bearbeitete Grenzflächen ausreichen. Wählt man nämlich die Durchbiegung des weniger stark sammelnden Teiles so, daß die unendlich ferne Ebene für ein endlich ausgedehntes Blickfeld scharf abgebildet wird, so ist auch der stärker sammelnde Teil für eine Objektebene von endlichem Abstande hinsichtlich

des Astigmatismus schiefer Bündel ganz oder doch nahezu korrigiert. Die Differenz der Brechungsexponenten $n_1 - n$, die im höchsten Falle zur Verfügung steht, ist

$$n_1 - n = 1{,}611 - 1{,}465 = 0{,}146.$$

Soll die Brechkraftsdifferenz ermittelt werden, die sich bei Beibehaltung der Außenkrümmungen durch die Einführung des stärker brechenden Glases herausstellt, so ergibt sich aus

$$D_1(n_1) = (n_1 - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$D_1(n) = (n - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$D_1(n_1) - D_1(n) = (n_1 - n)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = \frac{n_1 - n}{n - 1} D_1(n).$$

Soll nun die Zunahme der Brechkraft gerade 3 dptr betragen, so gilt

$$3 \text{ dptr} = \frac{n_1 - n}{n - 1} D_1(n)$$

und für die oben angegebenen numerischen Werte

$$3 \text{ dptr} = 0{,}314\, D_1(n)$$
$$D_1(n) = 9{,}55 \text{ dptr}.$$

In Worten ausgedrückt heißt das: macht man sich die gesamte Differenz zunutze, die die Exponenten verschiedener Kronarten zur Verfügung stellen, so kann man nur dann hoffen, durch nebeneinanderliegende, die gleichen Grenzflächen tragende Halblinsen aus Kron eine Brechkraftsdifferenz von 3 dptr zu erreichen, wenn der Teil aus dem niedrigeren Material mindestens eine Brechkraft von $9\frac{1}{2}$ dptr hat.

§ 48. Bifokalbrillen mit drei optisch bearbeiteten Grenzflächen. Die einfachste Art des Vorgehens dabei wird die sein, daß eines der beiden Brillengläser, die man miteinander vereinigt, ein solches mit punktueller Abbildung ist.

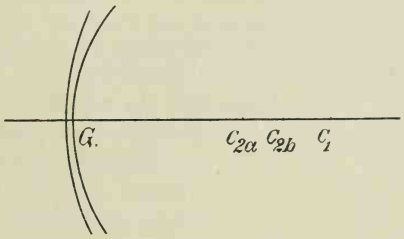
Eine derartige Vereinigung wird verwirklicht, wenn man die Achsen beider Linsen zusammenfallen läßt und eine der Grenzflächen gemeinsam annimmt, während auf der andern Seite des Brillenglases zwei sphärische Flächen aneinander stoßen, deren Brechkräfte die bestimmte, vorgeschriebene Differenz haben. Da sich zwei Kugelflächen von verschiedenem Radius, wenn überhaupt, in einem Kreise schneiden, so ist, wenn Höhendifferenzen in der Grenze vermieden werden[1]), die Grenzlinie der beiden Gebiete ein

[1]) Der Fall, wo die höhere Brechkraft durch Aufkittung einer Sammellinse herbeigeführt wird, soll hier nicht weiter behandelt werden, da er heutzutage von geringer praktischer Bedeutung ist.

Kreis, der ganz oder nur zum Teil innerhalb der Brillenfassung liegt. Man wählt auch dann die Begrenzung in der Regel kreisförmig, wenn in ihr Höhendifferenzen auftreten, was übrigens nicht im Interesse der Sauberkeit und Unauffälligkeit liegt.

Betont man die Forderungen, daß der Übergang vom Fern- zum Naheteil ohne Springen der Bilder und in der Mitte des Doppelfokusglases vor

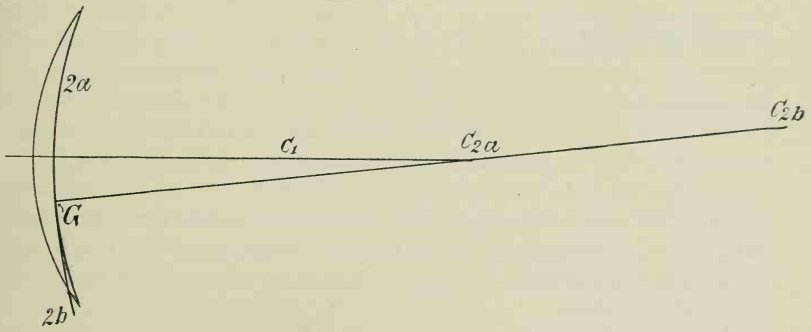
Fig. 25.



Doppelfokusglas mit sprunglosem Übergang in der Achse bei G.

sich gehen solle, so hat man die Vorschrift ausgesprochen, daß die Krümmungsmittelpunkte der drei Grenzflächen auf der gemeinsamen Systemachse angeordnet sein sollen, wie das Figur 25 zeigt. Soll der Übergang

Fig. 26.



Doppelfokusglas mit sprunglosem Übergang außerhalb der Achse bei G.

stetig aber außerhalb der Mitte erfolgen, so kann man vorgehen wie in Figur 26. Man zieht in G, wo die Grenze liegen soll, einen Radius

$$G C_{2a} = r_2$$

und verlängert diese Richtung bis C_{2b}, wo

$$G C_{2b} = r_3$$

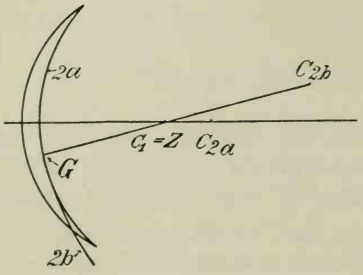
so bestimmt wird, daß

$$\frac{n-1}{r_3} - \frac{n-1}{r_2} = D_{\text{nahe}} - D_{\text{fern}}$$

gilt. Alsdann konstruiert man von G aus nach außen den Bifokalteil, der in diesem Falle ebenso wie in dem vorigen eine nach dem Fassungsrande zu ständig wachsende Höhendifferenz gegen die zum Hauptteil gehörige Fläche aufweisen wird. Dagegen ist in G die prismatische Wirkung vollkommen vermieden, da ja die beiden Kugelflächen in diesem Punkte die gleiche Tangente haben.

Eine weitere Möglichkeit führt allerdings auf starke Durchbiegungen; sie nimmt nach Figur 27 eine Fläche konzentrisch zum Augendrehpunkt an und ordnet auf der andern Seite zwei Grenzflächen von verschiedenem Radius so an, daß der untere Teil des Bifokalglases die größere Sammelwirkung aufweist. Die Achsen beider Linsenteile läßt man durch den Augendrehpunkt gehen, und zwar bilden sie dort einen kleinen Winkel miteinander. Auf diese Weise erhält man eine Vereinigung von zwei zentrisch benutzten Linsen von verschiedener Brechkraft, die an der Stelle G eine, allerdings nur kleine, prismatische Wirkung aufweisen. Freilich ist durch die willkürliche Bestimmung eines der Radien die Durchbiegung festgelegt und somit über das einzige Mittel verfügt, mit sphärischen Grenzflächen den Astigmatismus schiefer Büschel zu heben. Indessen sind die Fehlerreste bei zweckmäßiger Konstruktion für die gewöhnlichen Prüfungsverfahren nicht bemerkbar und zwar weder bei dem Nahe- noch bei dem Fernteil. Dies ist der Fall, wenn man die Fläche zum Augendrehpunkt konzentrisch wählt, deren Brechkraft das gleiche Zeichen hat, wie die Brechkraft der ganzen Brille. Man kommt dann auf Durchbiegungen, die sich von denen der Wollastonschen Formen wenig unterscheiden.

Fig. 27.

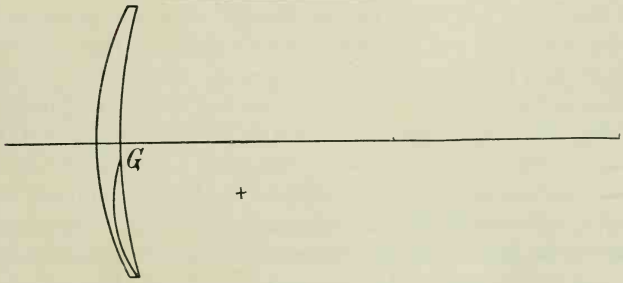


Stark durchgebogenes Doppelfokusglas aus zwei zentrischen Linsenteilen mit kleinem Sprung an der Übergangsstelle G.

Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die verschiedenen Forderungen, die theoretische (der Vermeidung jeglicher prismatischer Wirkung) und die kosmetische (der Vermeidung eines Höhenunterschiedes zwischen Fern- und Naheteil) sich nicht zusammen erfüllen lassen, so daß man zu verschiedenen Formen kommen kann, je nachdem man der einen oder der anderen Forderung ein größeres Gewicht beilegt. Aus dem großen Beifall, den in neuerer Zeit verschiedene, noch zu besprechende Doppelfokusgläser gefunden haben, die das Hauptgewicht auf die Unauffälligkeit legen, darf man wohl

den Schluß ziehen, daß sich die Mehrzahl der presbyopischen Brillenträger an ein mäßiges, beim Übergang über die Grenze erfolgendes Springen der Bilder gewöhnt. Es handelt sich bei der obigen Bemerkung um Konstruktionen, bei denen im unteren Teil einer korrigierenden Brille ein sammelnder Bestandteil aus hochbrechendem Flintglas eingesetzt worden ist; es kommt hier an dieser Stelle nicht darauf an, ob die Verbindung der beiden Bestandteile durch Einkitten oder durch Einschmelzen herbeigeführt worden ist. Man ersieht aus der Figur 28, daß trotz ganz stetigen Verlaufs der sphärischen Außenflächen ein endlicher Sprung des Bildes auftritt, sobald die augenseitige Blicklinie die Stelle G passiert.

Fig. 28.



Ein Doppelfokusglas aus zwei Bestandteilen von verschiedenem Brechungsexponenten.
+ gibt das Zentrum der Innenfläche an.

Im allgemeinen wird man bei der Herstellung von Doppelfokusgläsern aus einem Stück und mit drei optisch bearbeiteten Grenzflächen zweckmäßig von der Ostwaltschen Form ausgehen. Es ist aber nicht notwendig, für den Ausgang immer das korrigierende Glas zu wählen und den kleineren Naheteil in der unteren Hälfte anzuschleifen; man kann sehr wohl von dem Ostwaltschen Presbyopenglas ausgehen und einen kleineren Fernteil in der oberen Hälfte vorsehen. Es wird eben in hohem Maße auf die Beschäftigung des Trägers ankommen. Handelt es sich im wesentlichen um Schreib- oder andere Nahearbeit, so wird die zuletzt erwähnte Form wahrscheinlich die besseren Dienste leisten.

Über die zweckmäßige Anordnung der Fern- und Naheteile im Brillengestell kann erst dann gehandelt werden, wenn die an ein beidäugiges Instrument zu stellenden Anforderungen besprochen worden sind.

2. Nur zweifach symmetrische Gläser.

§ 49. Die homozentrische Abbildung, die von selbst für Achsenpunkte eines Systems zentrierter Umdrehungsflächen gilt, liefert aber nicht die einzige Möglichkeit für die Ausführung von Brillen, die zur Unterstützung

achsensymmetrischer Augen bestimmt sind. Man kann für diesen Zweck auch Systeme wählen, die nur zweifach symmetrisch oder kurz gesagt symmetrisch sind, wenn nur die Radien der Zylinder- oder torischen Flächen (s. S. 81) so bestimmt werden, daß sich auf der Achse eine punktuelle Abbildung ergibt. Als Brillenachse gilt hier die Gerade, in der sich die beiden Symmetrieebenen des Systems durchdringen.

Von solchen Formen scheinen nur Lesegläser bekannt zu sein, die zwei rechtwinklig gekreuzte Zylinderflächen aufweisen; sie scheinen gelegentlich auch als Chamblantsche Gläser bezeichnet zu werden. Als Vorteil wird solchen als Lesegläser verwandten Konstruktionen — beispielsweise von E. Oppenheimer (*I. 101.*) — ein geringerer Betrag der Verzeichnung nachgerühmt.

Kommt man mit einer solchen Aussage über die seitlichen Teile des Gesichtsfeldes schon auf das Gebiet der Verbindung symmetrischer Brillengläser mit dem bewegten Auge, so mögen an dieser Stelle nur die Forderungen aufgeführt werden, denen ein solches Brillenglas genügen müßte, wenn man es mit Vorteil zur Unterstützung des Sehens mit bewegtem Auge verwenden wollte. Ganz der Behandlung entsprechend, die die astigmatischen Brillen weiter unten erfahren werden, müßte man auch diese zweifach symmetrischen Systeme längs endlich geneigten Hauptstrahlen untersuchen, die in den beiden Symmetrieebenen verlaufen, und auch für diese Richtungen eine Aufhebung des Astigmatismus schiefer Büschel herbeiführen. Wäre das geschehen, so könnte man von solchen symmetrischen Linsen als von punktuell abbildenden sprechen.

Zurzeit sind aber derartige Untersuchungen über zweifach symmetrische anastigmatische Brillen nicht bekannt geworden. Was hier darüber gesagt werden soll, wird sich unter § 59 am Schluß der Behandlung der astigmatischen Brillen finden, denn erst dann wird die Kenntnis der neu einzuführenden Begriffe genügen, um diese Art der Korrektion zu würdigen.

3. Einfach symmetrische Gläser (Schielbrillen).

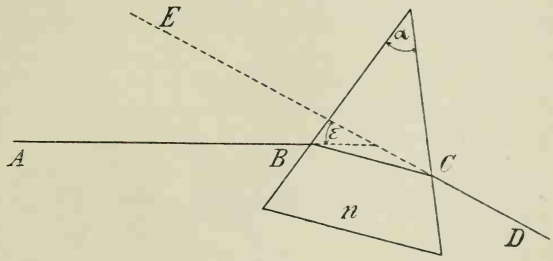
a) Die gewöhnlichen Brillen (ohne punktuelle Abbildung).

§ 50. In gewissen Fällen, wie beispielsweise bei Schielenden, kommt es vor, daß die Gesichtslinie um einen bestimmten Winkel von der normalen Stellung abweicht. Um die Vorstellung zu erleichtern, sei angenommen, daß die Ebene dieses Winkels horizontal liege. Alsdann besteht die Aufgabe, dieser anomalen augenseitigen Richtung eine korrekte objektseitige zuzuordnen, und das geschieht, wenn es sich zunächst um ein emmetropisches Auge handelt, durch ein Prisma mit ebenen Grenzflächen. Man muß dabei diejenige Hauptebene des Prismas, die seine Symmetrieebene ist, mit der Horizontalebene zusammenfallen lassen, die ja nach der Voraus-

setzung durch die beiden Richtungen der Blicklinie, die normale und die anomale, bestimmt worden war.

Setzt man eine solche Lage des Prismas voraus, daß es für diese beiden einander zugeordneten Richtungen im Minimum der Ablenkung

Fig. 29.



Schematische Darstellung der Brechung in der (horizontalen) Symmetrieebene eines Prismas vom Medium n und vom brechenden Winkel α.
Der Hauptstrahl $ABCD$ durchsetzt das Prisma mit der Minimalablenkung ε. Der Richtung AB im Objektraume entspricht auf der Augenseite CD, die mit AB den Winkel ε einschließt.

steht, und bezeichnet man, wie in Figur 29, den Brechungsexponenten mit n, den brechenden Winkel mit α und den Ablenkungswinkel mit ε, so wird in den Handbüchern der geometrischen Optik die Formel hergeleitet:

$$\sin\frac{\varepsilon+\alpha}{2} = n \sin\frac{\alpha}{2},$$

die eine Berechnung von ε aus n und α leicht gestattet. Handelt es sich dagegen darum, aus ε und n den Wert von α zu bestimmen, so muß die Formel nach α aufgelöst werden, und es ergibt sich nach einfachen Umformungen:

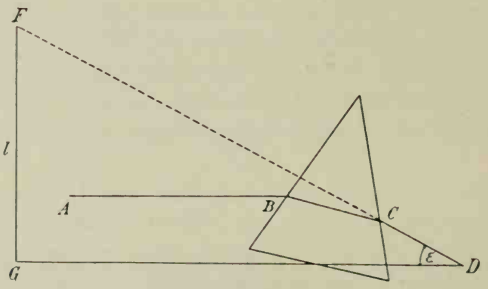
$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\sin\frac{\varepsilon}{2}}{n - \cos\frac{\varepsilon}{2}}.$$

Für die Bedürfnisse der Praxis ist nun die Bestimmung einer Maßeinheit notwendig, sei es, daß die Wirkung vorhandener Prismen bestimmt oder daß die Ergebnisse der Untersuchung so angegeben werden sollen, daß sich danach Prismen von gleichem Effekt herstellen lassen.

Als erste Methode ergab sich dabei die Angabe des brechenden Winkels α des Prismas mit dem Grad als Maßeinheit. Dieses Vorgehen ist schon darum nicht zu billigen, weil es nur dann zu den vorgeschriebenen Ablenkungswerten ε führt, wenn bei der Herstellung der Prismenbrille ein Mittel von dem Brechungsexponenten n verwendet wird, das für die Probierbrille in Betracht kam.

Eine andere Methode wurde, wie C. Hess (*1. 157; 2. 173—174.*) berichtet, 1888 von Ch. F. Prentice vorgeschlagen, und zwar maß er richtiger die Ablenkung ε, die ein Prisma der ursprünglichen Richtung gegenüber herbeiführt. Er stellte nämlich, wie Figur 30 zeigt, die Verschiebung l auf

Fig. 30.



Schematische Darstellung des Prenticeschen Meßverfahrens.
$DG \parallel BA$ ist die ursprüngliche, $DC = DF$ die durch das Prisma geänderte Richtung.
$GD = 1$ m; $GF = l$ cm.

einem Schirme fest, der in 1 m Entfernung senkrecht zur ursprünglichen Richtung aufgestellt wurde. Bezeichnet man nun, wie es (ebenfalls nach C. Hess) S. Burnett 1891 tat, als Wirkung einer einzelnen Prismendioptrie, die, wobei eine Verschiebung von 1 cm, und die Wirkung von z Prismendioptrien, die, wobei eine Verschiebung von z cm eintritt, so sieht man ein, daß es sich hier um eine Zählung nach dem Werte der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels handelt. Diese Zählung wird sich allerdings bei den kleinen Werten von

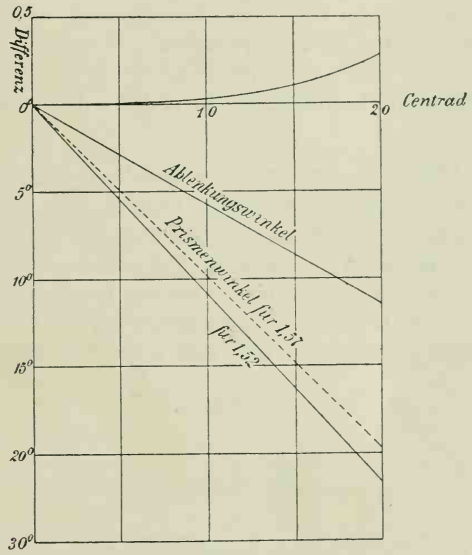
$$\varepsilon < 10^{\circ},$$

die in der Praxis meistens nur in Betracht kommen, wenig von einer Zählung der Winkel selbst unterscheiden.

Eine solche Zählung nach den Winkeln selbst wurde nach E. H. Oppenheimer (*1. 179.*) von . . Dennett vor 1891 vorgeschlagen, und zwar empfahl er als große Einheit, den Radian, den Winkel, der allgemein in der mathematischen Analysis die Einheit darstellt. Sein Bogen hat die Länge des Radius, und seine Größe ist im alten Gradmaß (bei einer Teilung des Quadranten in 90 Teile) durch 57,296° gegeben. Da diese Einheit für den praktischen Gebrauch viel zu groß ist, und daher alle Angaben durch kleine Dezimalbrüche gemacht werden müßten, so schlug er den hundertsten Teil davon als Centradian (abgekürzt Centrad △) vor, dessen Wert sich also im alten Gradmaß zu 0,573° ergibt.

Schon aus dem Vorhergegangenen wird klar geworden sein, daß sich die Werte in Centrad nur wenig von denen in Prismendioptrien unterscheiden werden. Aus der untenstehenden graphischen Darstellung, Figur 31, geht weiterhin auch hervor, daß der Unterschied zwischen beiden Angaben erst für einen Centrad-Wert von etwa 17 ctrd auf 1 % ansteigt. Man sieht außerdem noch, daß man für die Bedürfnisse der Praxis auch die Größe der Prismenwinkel α als proportional zum Ablenkungswinkel ε ansehen kann.

Fig. 31.



Graphische Darstellung der Prismenwinkel α, der Ablenkungswinkel ε in Graden, der Differenz (Maßzahl prdptr — Maßzahl ctrd) in Dezimalen für 0 bis 20 ctrd.

Oben war darauf hingewiesen worden, daß es sich um ein emmetropisches Auge handele, und daß das Prisma für die betrachteten beiden Richtungen im Minimum der Ablenkung stehend vorausgesetzt worden war. Eine solche Annahme hat zur Folge, daß einem unendlich fernen Objektpunkt ein unendlich entfernter, punktuell abgebildeter Bildpunkt entspricht, soweit dünne Büschel in Betracht kommen, und wie zunächst stets von der Dispersion abgesehen wird. Für Objektpunkte, die auf diesem Hauptstrahle in endlicher Entfernung liegen, ist die Brennstrecke zwischen den beiden Fokalpunkten von konstanter endlicher Länge, die einen Bruchteil der Prismendicke ausmacht. Dieser Betrag des Astigmatismus ist aber deshalb ohne Belang, weil in den Fällen, wo Prismen verschrieben werden, der Objektabstand nie so klein ist, daß der Astigmatismus auffiele. Näheres

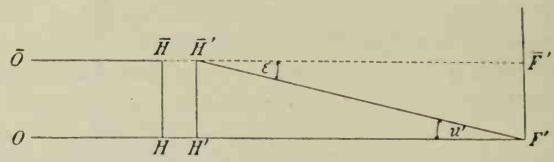
dazu ist aus der wichtigen Abhandlung von L. Burmester (*1.*) vom Jahre 1895 zu entnehmen. Auch darauf sei nur hingewiesen, daß mit dieser anastigmatischen Abbildung durch ein Prisma eine Drehung der Bildebene in der unmittelbaren Nachbarschaft des betrachteten Hauptstrahls verbunden ist; abgesehen von der Behandlung in dem allgemeinen Gullstrandschen System ist darüber einiges gleichsam in monographischer Darstellung in den Arbeiten von R. Straubel (*1.*) aus dem Jahre 1902 und von A. König (*3.*) aus dem Jahre 1904 zu finden.

Neben den monochromatischen Aberrationen müssen bereits auf dieser Stufe auch chromatische Differenzen berücksichtigt werden, und zwar sind einseitige Farbensäume bei der Anwendung von Prismen in der Praxis nicht zu vermeiden, da eine Achromatisierung der prismatischen Gläser wegen der dann notwendigen Gewichtszunahme in den meisten Fällen ausgeschlossen sein wird.

§ 51. Läßt man nun auch die Annahme fallen, daß man es mit emmetropischen Augen zu tun habe, so wird sich die für ametropische Augen mit anomaler Richtung der Gesichtslinie notwendige Wirkung aus einer Linsen- und einer prismatischen Wirkung zusammensetzen müssen.

Ein einfaches Mittel, zu einem solchen Ergebnis zu kommen, bietet sich in der Dezentrierung eines achsensymmetrischen Brillenglases dar. Man sieht ohne Schwierigkeit ein, daß unter Vernachlässigung der sphä-

Fig. 32.



Zur Beziehung zwischen Brechkraft und prismatischer Ablenkung einer dezentrierten Linse.

rischen Aberration die prismatische Ablenkung in eine Beziehung zur Brechkraft der dezentrierten Linse gesetzt werden kann. Wird in Figur 32 bei einem zunächst achsenparallel einfallenden Strahl $\bar{O}\bar{H}$ die Einfallshöhe

$$h = H\bar{H}$$

in der vorderen Hauptebene in cm gemessen, so ergibt sich nach der Brechung in der Linse seine Neigung u' gegen die Achse durch

$$\operatorname{tg} u' = \frac{h}{f_1}.$$

Schreibt man nun die Richtung $\bar{H}'\bar{F}'$ als normale vor, so ist alsdann der Ablenkungswinkel $F'H\bar{F}' = \varepsilon$ gegeben, für den natürlich gilt

$$\varepsilon = u',$$

so daß sich ergibt

$$\operatorname{tg} \varepsilon = h D_1 .$$

Nun ist aber tg ε eben der Ausdruck für die Anzahl der Prismendioptrien, oder (mit dem praktisch belanglosen Vorbehalt) für die Centradzahl $\triangle$, und es folgt die Beziehung

$$\triangle = h D_1 .$$

Daraus ergibt sich für

$$h = 1 \text{ cm}$$

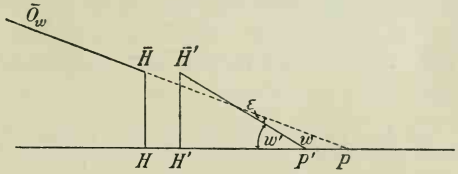
sehr einfach

$$\triangle_{1\,\mathrm{cm}} = D_1 ,$$

d. h. die nach C. Hess (*1. 159*; *2. 176.*) zitierte Angabe, »daß jede konvexe oder konkave Linse in einem Abstande von 1 cm von der Achse eine prismatische Kraft von so vielen Prismendioptrien hat, wie sie selbst Linsendioptrien besitzt«.

Es läßt sich leicht zeigen, daß die prismatische Ablenkung eines bestimmten, durch $\bar{H}$ definierten Linsenorts, wie sie hier für eine aberrationsfrei angenommene Linse abgeleitet wurde, unabhängig ist von der Richtung, unter der der Strahl im Objektraume verlief, solange es sich nur um verhältnismäßig kleine Winkel handelt.

Fig. 33.



Zur Unabhängigkeit des Betrages ε der prismatischen Ablenkung von der objektseitigen Achsenneigung w des Hauptstrahls.

Nimmt man dieselben Werte für die Charakterisierung der Linse an wie vorher, läßt aber in Figur 33 den Strahl $\bar{O}_w \bar{H}$ vor der Brechung den Winkel

$$\overline{HPH} = w$$

mit der Achse bilden, so kann man $HP = x$ setzen und erhält $H'P' = x'$ auf Grund der bekannten Beziehung

$$\frac{1}{x'} = \frac{1}{x} + \frac{1}{f_1} . \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Beachtet man, daß die Gleichungen

$$\frac{h}{x} = \operatorname{tg} w ; \qquad \frac{h}{x'} = \operatorname{tg} w'$$

bestehen, so ergibt sich nach Multiplikation von (9) mit h

$$\operatorname{tg} w' - \operatorname{tg} w = w' - w = \triangle = h D_1$$

ganz wie oben.

Mit dieser Betrachtung ist aber gleichzeitig der Fall der prismatischen Ablenkung erledigt, der eintritt, wenn eine beliebige Linse von dem in Frage kommenden Hauptstrahl schief durchsetzt wird. Man braucht dann eben nur die Höhe h zu bestimmen, in der die Hauptebenen von dem Hauptstrahl durchstoßen werden, um durch Multiplikation mit der Brechkraft D_1 der Linse die prismatische Wirkung der geneigten Linse in Centrad zu erhalten.

Ebenso wie bei dem ebenen Prisma für das emmetropische Auge muß auch hier bei dem Linsenprisma für das ametropische Auge eine Untersuchung darüber angestellt werden, ob die Konstruktion überhaupt als eine anastigmatische Brille zu gelten hat. Man wird im einzelnen untersuchen müssen, ob sich das Glas um eine zur Symmetrieebene senkrechte Achse, die durch den Punkt $\overline{H}$ der vorderen Hauptebene geht, so drehen läßt, daß eine anastigmatische Abbildung längs des hier betrachteten, immer nach $\overline{H}$ zielenden Hauptstrahls zustande kommt. Ist das der Fall, so tritt eine Drehung der punktuellen Bildfläche in der Nachbarschaft des ausgewählten Hauptstrahls natürlich auch hier ein.

In der Praxis muß man bei prismatischen Brillengläsern natürlich mit der Gewichtsvermehrung und den einseitigen Farbensäumen rechnen. Man wird daher über eine gewisse Ablenkung nicht hinausgehen können. Als Grenzwert kann ungefähr ein Betrag von 6 ctrd angesetzt werden.

b) Die punktuell abbildenden Brillen.

§ 52. Nimmt man nun den Fall an, der in der Praxis allein Bedeutung hat, daß nämlich das mit der prismatischen Linse versehene Auge sich für ein endlich ausgedehntes Blickfeld um seinen Drehpunkt bewegt, so ergeben sich für den Korrektionszustand der prismatischen Brille gewisse Forderungen.

Ein Idealzustand einer für die Betrachtung ferner Objekte bestimmten prismatischen Brille würde es sein, wenn die unendlich ferne Ebene punktuell und ohne Verzeichnung auf einer zum Drehpunkt Z' konzentrischen Kugelfläche abgebildet würde. Dieser Zustand läßt sich allerdings zunächst nicht erreichen, doch kann man aus dem Vorhergegangenen wohl entnehmen, daß das Hauptgewicht darauf zu legen ist, die punktuelle Abbildung herbeizuführen. Das wird wenigstens gelten, so lange die Verzeichnung innerhalb erträglicher Grenzen bleibt, und die der Bildkrümmung bei photographischen Systemen entsprechenden Abweichungen von der idealen Kugelfläche durch das Akkommodationsvermögen selbst bejahrter Brillenträger ausgeglichen werden können.

Entsprechend der Form der prismatischen Brille, die nur eine einzige — hier horizontal angenommene — Symmetrieebene zeigt, ist auch von vornherein für die Bildfläche eines solchen punktuell abbildenden prismatischen Systems nur eine einfache Symmetrie zu erwarten. Die Bildfläche schneidet die Symmetrieebene zwar unter einem rechten Winkel, aber sie bildet nicht mehr mit dem in der Symmetrieebene liegenden bevorzugten Hauptstrahl, der für den Brillenträger die Rolle der Achse spielt, einen Rechten, vielmehr liegt sie schief zu jenem bevorzugten Hauptstrahl. Was die Verzeichnung angeht, so ist sie nur nach oben und nach unten von der Symmetrieebene aus für entsprechend gelegene Objektpunkte von gleichem Betrage. Für die Richtungen rechts und links von dem bevorzugten Hauptstrahl läßt sich über die Verzeichnung von vornherein gar keine Aussage machen, und man wird sich vorzustellen haben, daß die Verkleinerung der objektseitigen Blickwinkel bei zerstreuenden und ihre Vergrößerung bei Sammelgläsern, wenn sie überhaupt auf beiden Seiten auftreten, doch auf der rechten Seite des Blickfeldes andere Werte aufweisen werden als auf der linken.

Für die Ermittlung der Zahlenwerte muß man von den Rechenregeln Gebrauch machen, die für einfach symmetrische Systeme Geltung haben; bei solchen muß man sich im allgemeinen für die außerhalb der Symmetrieebene verlaufenden Hauptstrahlrichtungen im Raume orientieren, während für die Hauptstrahlen, die in der Symmetrieebene verlaufen, nur eine Orientierung in der Ebene erforderlich ist.

Es soll hier eine Form der für das direkte Sehen bestimmten prismatischen Brillen mit punktueller Abbildung vorgeführt werden, bei der durch einen Kunstgriff die Bestimmung der übrig bleibenden Fehler außerordentlich erleichtert wird. Es sei hinzugefügt, daß sich eine punktuelle Abbildung von nahezu vollständiger Zonenfreiheit erreichen ließ (s. S. 43). Die Beschreibung soll hier an der Hand eines Beispiels erfolgen, doch wird kein Zweifel darüber bestehen bleiben, in welcher Art man verfahren muß, wenn man Fälle zu behandeln hat, bei denen andere Anfangswerte (Brechkraft und prismatische Ablenkung der verordneten Brille) vorgeschrieben worden sind.

Im Vorhergehenden war darauf hingewiesen worden, daß die Wollastonsche Form der korrigierenden Brillen zwar den Nachteil einer sehr starken Durchbiegung hatte, daß sie sich aber des Vorteils erfreute, eine punktuelle Abbildung von bemerkenswerter Geringfügigkeit der Zonen zu gestatten. In der Tat geht die Zonenfreiheit sehr weit, wie man aus der Tatsache entnehmen kann, daß man durch zweckmäßige Durchbiegung einer Zerstreuungslinse von — 3 dptr Brechkraft die zu der unendlich entfernten Objektebene gehörigen beiden Schalen der kaustischen Fläche einander so nähern kann, daß sie an keiner Stelle um mehr als wenige Zehntel

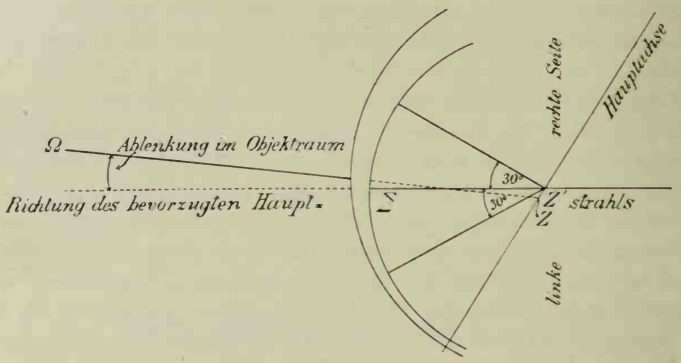
Millimeter voneinander entfernt sind, selbst dann, wenn es sich um den gewaltigen Neigungswinkel von

$$w' = 90^\circ$$

handelt.

Dieser unerwartet günstige Korrektionszustand ließ die Idee entstehen, aus diesem übermäßig großen Gesichtsfelde der achsensymmetrischen Brille für die prismatische nur einen verhältnismäßig kleinen, unsymmetrisch gelegenen Teil zu verwenden. Man denke sich den Strahl von 60° augenseitiger Neigung gezogen, der unter einem objektseitigen Neigungswinkel von 63,14° wieder austritt, so hat dieser als bevorzugter Hauptstrahl eine Ablenkung von 3,14°, und die prismatische Wirkung einer solchen Brille beträgt 5,5 ctrd. Läßt man nun vom Augendrehpunkt einen Strahlenkegel

Fig. 34.



Die Spuren der Grenzflächen einer punktuell abbildenden prismatischen Brille in der Symmetrieebene.
$D_1 = -2.6$ dptr; $\triangle = 5{,}5$ ctrd.

ausgehen, der zu diesem Hauptstrahl symmetrisch liegt und eine Totalöffnung von 60° hat, so schneidet er aus dem symmetrischen, halbkugelig gewölbten Brillenglase ein stark durchgebogenes, prismatisches Stück heraus, dessen Symmetrieebene die den ausgewählten Hauptstrahl enthaltende Meridianebene des achsensymmetrischen Systems ist. Die Spuren der beiden Begrenzungsflächen mit dieser Symmetrieebene zeigen den Verlauf, der in der obenstehenden Figur 34 dargestellt ist. Dieses Brillenglas hat den großen Vorteil, daß für eine beliebige Blickrichtung eine punktuelle Abbildung besteht, wenn man die ganz und gar geringfügigen Zonen unbeachtet läßt, deren oben Erwähnung getan wurde. Daß die Bildfläche auch hier nicht senkrecht auf dem ausgewählten Hauptstrahl steht, ist richtig, doch liegt, wie sich aus dem nebenstehenden Diagramm 35 entnehmen läßt, selbst für die Extremwerte des augenseitigen Gesichtsfeldes, nämlich für

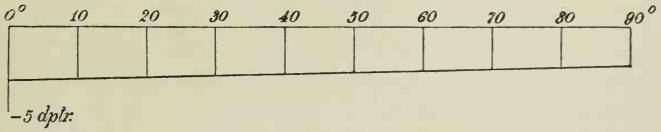
$$w' = 30° \quad \text{und} \quad w' = 90°$$

die Fläche so, daß ihnen die Schnittweitenreziproken von

$$-2{,}9 \text{ dptr} \qquad -2{,}3 \text{ dptr}$$

entsprechen. Der Unterschied von 0,6 dptr liegt innerhalb der Akkommodationsbreite selbst für bejahrte Brillenträger. Daß er überhaupt auftritt, liegt an dem Umstande, daß das Bildfeld der als Ausgangsform dienenden achsensymmetrischen Brille keine zum Augendrehpunkt konzentrische Kugel ist.

Fig. 35.



Darstellung der reziproken Schnittweiten einer Negativlinse ($D_1 = -3$ dptr) Wollastonscher Form für $0 \leqq w' \leqq 90°$.

Die Schnittweiten sind auf eine zum Augendrehpunkt konzentrische und den inneren Brillenscheitel berührende Kugelschale bezogen.

Was die Verzeichnung angeht, so würde sie sich hier für das ganze Bildfeld ohne besondere Schwierigkeiten ermitteln lassen, doch wurde davon abgesehen. Indessen sei doch wenigstens für die Symmetrieebene die Art und Weise kurz angegeben, wie man die Verzeichnung ermitteln kann.

Das Brillenglas verändere den Gang der Hauptstrahlen in der horizontalen Symmetrieebene so, daß die in der Figur 34 angegebenen Beziehungen gelten. Dann werden sich die objektseitigen Richtungen der Hauptstrahlen rückwärts verlängert nicht in einem Punkte schneiden, da die in der Symmetrieebene verlaufenden Hauptstrahlen (die Strahlenfläche) auf der Objektseite im allgemeinen mit sphärischer Aberration behaftet sein wird. Handelt es sich aber, wie hier angenommen, um ein entferntes Objekt, so spielen diese endlichen Aberrationen für die Verzeichnung keine Rolle, und man erhält, wenn man alle Winkel ω, ω' auf den mittleren Strahl $Z\Omega$, $Z'\Sigma$ bezieht, durch die Quotienten

$$\frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega}$$

das Verhältnis der scheinbaren Größen, unter denen entfernte Objekte dem Brillenträger erscheinen, zu den scheinbaren Größen derselben fernen Objekte für einen nach der Richtung $Z\Omega$ gewandten Emmetropen am gleichen Ort.

Ein Urteil über die Verzeichnung erhält man dadurch, daß man den Gang dieses Quotienten für endliche ω, ω' verfolgt. Geschieht das in dem vorliegenden Falle, so gilt zwar rechts und links von der ausgewählten Richtung $Z\Omega$, $Z'\Sigma$ die Ungleichung

$$\frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} < 1,$$

aber diese Werte sind für die äußere, rechte Seite größer, für die innere, linke Seite kleiner als der Wert des Bruches für verschwindende ω, ω', und die Abweichungen von den objektseitigen Winkeln sind stets kleiner als jene, die sich zeigen, wenn man die achsensymmetrische Linse für das gleichgroße Blickfeld von

$$2w' = 60^\circ$$

benutzt.

Die nebenstehende Figur 36 zeigt den Gang des Quotienten

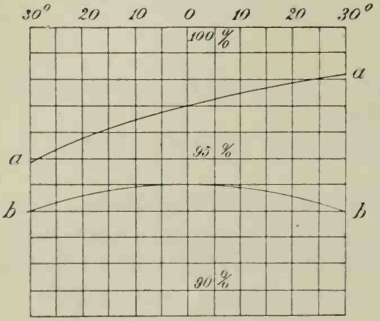
$$\frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} \text{ für } -30^\circ \leqq \omega' \leqq +30^\circ$$

in der oberen, und

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} \text{ für } 0^\circ \leqq w' \leqq 30^\circ$$

in der unteren Kurve.

Fig. 36.



Graphische Darstellung der Verzeichnung

aa in der Symmetrieebene der prismatischen punktuell abbildenden Brille

$D_1 = -2{,}6$ dptr; $\triangle = 5{,}5$ ctrd für $-30^\circ \leqq \omega' \leqq +30^\circ$;

bb bei der achsensymmetrischen Brille von gleichen Grenzflächen

$D_1 = -3$ dptr für $-30^\circ \leqq w' \leqq +30^\circ$.

Stellt man sich etwa vor, daß der Träger dieser prismatischen Brille bei Dunkelheit aus einem Fenster im ersten Stock über einen breiten Platz hinweg eine geradlinige Reihe hoher Laternen so weit betrachtet, wie sie sich ihm unter $2 \times 30^\circ$ darbietet, so wird ihm die linke Hälfte der Reihe ebenso wie die rechte unter einem kleineren Winkel erscheinen, als einem an demselben Fenster stehenden Emmetropen. Indessen werden sich die Flammen auf der linken Seite — namentlich gegen den Rand hin — einander merklich stärker nähern als auf der rechten; doch werden die Objekte des Blickfeldes für ihn noch unter größeren Winkeln erscheinen, als für den Träger einer achsensymmetrischen Brille mit den gleichen Begrenzungsflächen.

Dieser Erörterung muß die Bemerkung hinzugefügt werden, daß eine Ablenkung von 5,5 ctrd, wie hier betrachtet, etwa das Maximum darstellt, das man für ein Brillenglas dieser Brechkraft erreichen kann, wenn es aus einem großen achsensymmetrischen Glase durch Dezentrierung so erhalten werden soll, daß überall eine punktuelle Abbildung gewährleistet ist. Diese Zahl stimmt übrigens befriedigend mit der äußersten Grenze überein, die auf Seite 74 angegeben wurde.

Was nun die äußere Form angeht, so ist der Längenunterschied der Glaswege von etwa $2^3/_4$ mm unlöslich mit der geforderten prismatischen Ablenkung verknüpft. Es wird also nicht gelingen, eine prismatisch wirkende Brille aus homogenem Material ohne einen solchen Dickenunterschied in der Symmetrieebene herzustellen. In dem vorliegenden Falle ist eine mittlere Schicht des Brillenglases zum Augendrehpunkt konzentrisch; es scheint, daß damit die prismatische Form möglichst wenig auffällig angebracht worden ist.

II. Astigmatische Linsen.

§ 53. Unter einem astigmatischen Auge schlechthin versteht man ein Auge, das längs der Achse astigmatisch ist. Ein solcher Zustand ist die Folge davon, daß das System des Auges nicht achsensymmetrisch gebaut ist, sondern mindestens eine Fläche enthält, die keine Umdrehungsfläche ist. In der Regel ist bei astigmatischen Augen die Hornhaut derart beschaffen, und man nennt einen solchen Astigmatismus Hornhautastigmatismus. Indessen beteiligt sich in der Regel auch die Beschaffenheit der Kristallinse an dem Totalastigmatismus des Auges. Eine besondere Stellung nehmen auch hier wieder die aphakischen Augen ein, indem nicht selten nach der bei der Operation durchgeführten Durchschneidung der Hornhaut auch bei früher angenähert achsensymmetrischen Augen eine Formstörung zurückbleibt, ein Zustand, der kurz postoperativer Astigmatismus aphakischer Augen genannt wird.

1. Zweifach symmetrische Gläser.

§ 54. Wie bereits bemerkt, ist in jedem der aufgezählten Einzelfälle das System in der Umgebung der Achse nicht achsensymmetrisch, sondern es zeigt zwei einander unter rechtem Winkel durchdringende Hauptschnitte, in denen die Refraktion mit A_l und A_f bezeichnet sein soll. Der Astigmatismus As eines solchen Systems ist der Unterschied der beiden Refraktionswerte

$$As = A_l - A_f,$$

und wird somit in Dioptrien gemessen. Niedrige Grade bis zu 2 dptr sind sehr häufig, solche von 2—4 dptr gar nicht selten, aber auch solche von 6 und bei staroperierten Augen 8 dptr oder mehr kommen vor.

Über die schädliche Wirkung des Astigmatismus besteht kein Zweifel. Selbst kleine Beträge machen sich manchen Augen sehr störend fühlbar, und die mittleren und namentlich die großen Beträge setzen die Sehleistung des damit behafteten Auges ganz außerordentlich herab.

a) Die gewöhnlichen astigmatischen Brillen (für ruhende Augen).

§ 55. Das Mittel, den Astigmatismus zu korrigieren, besteht darin, daß man astigmatische Brillen anwendet, deren Hauptschnitte so orientiert sind, wie beim ruhenden Auge, und durch die das Auge in beiden Hauptschnitten für eine und dieselbe Entfernung a scharf eingestellt wird. Man sieht ein, daß zu ihrer Bestimmung nicht nur der Grad des Astigmatismus, sondern auch die Lage eines der beiden Hauptschnitte im Raume angegeben werden muß.

Das einfachste Mittel, einen Astigmatismus von beliebiger Größe und Orientierung hervorzubringen, bietet eine Zylinderlinse dar, d. h. eine Linse, die auf der einen Seite von einer Plan-, auf der anderen von einer Zylinderfläche begrenzt wird. Zeichen und Größe des Astigmatismus bestimmen zusammen mit dem Abstande vom Auge ihre Brechkraft, und die Orientierung eines Hauptschnitts schreibt die Lage der Zylinderachse vor, denn es ist klar, daß die Orientierung des einen Hauptschnitts einer Zylinderfläche gegeben ist durch die Richtung ihrer erzeugenden Graden, die der Zylinderachse parallel ist. Hiernach ist es ersichtlich, daß man auf den Brillenrezepten für astigmatische Augen die Angabe über die Lage der Zylinderachse für jedes Auge finden muß.

Ist die Refraktion des astigmatischen Auges in einem Hauptschnitt emmetropisch, so läßt sich durch eine solche Plan-Zylinderlinse eine vollständige Korrektion in der Umgebung der Achse erreichen. Sind aber beide Hauptschnitte ametropisch, so werden Linsen angewendet, die auf der einen Seite sphärisch, auf der andern zylindrisch geschliffen sind.

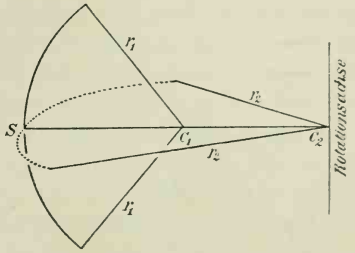
Zur Berechnung des Einflusses von Zylinderlinsen braucht nur auf S. 12 verwiesen zu werden, wo auseinandergesetzt wurde, wie man die Wirkung einer einzelnen sphärischen Linse bestimmt. Die Anlage der Rechnung ist hier völlig die gleiche, nur gilt das Ergebnis allein für den Hauptschnitt, für den die Zylinderfläche wirksam ist.

Je nachdem man eine positive oder eine negative Zylinderwirkung wählt, muß man den Zylinder in dem einen oder dem andern Hauptschnitt wirken lassen. Wenn man nämlich durch die sphärische Fläche die Refraktion A_t korrigiert, so muß die zylindrische Fläche senkrecht zu dem t-Hauptschnitte ihre Wirkung ausüben — ihre Achse also in dem t-Hauptschnitt selbst liegen — und zusammen mit der sphärischen die Refraktion A_f korrigieren. Ihre Brechkraft muß demnach das Vorzeichen $A_f - A_t$ haben. Auf dieselbe Weise muß, wenn die Refraktion A_f durch die sphärische Fläche korrigiert wird, die Brechkraft der zylindrischen Fläche das Vorzeichen der Differenz $A_t - A_f$ haben und die Zylinderachse im f-Hauptschnitt liegen. Irgend ein Vorzug für die eine oder die andre Ausführungsform ist auf dieser Stufe der Behandlung, wo allein das ruhende und in

der Richtung der Hauptachse der Brille gehaltene Auge berücksichtigt wird, nicht zu ermitteln. Wenn in der Literatur ziemlich häufig eine Anordnung empfohlen wird, bei der Zylinder- und Kugelfläche dem Auge möglichst ihre hohle Seite zukehren, so versucht man damit auf das Sehen mit bewegtem Auge Rücksicht zu nehmen, ein Gebiet, das in dieser Darstellung einen besonderen Abschnitt einnehmen soll.

Ebendort sind besonders die Brillenformen zu behandeln, die zur Korrektion des Astigmatismus dienen, und die man kurz als torische Linsen bezeichnet, während man sie exakter Linsen mit einer torischen Fläche nennen sollte. Will man mit einer und derselben Fläche ebensowohl eine sphärische wie eine astigmatische Wirkung erzielen, so muß man eine Fläche herstellen, die in zwei aufeinander senkrechten Richtungen zwei verschiedene Brechkräfte, also auch zwei verschiedene Krümmungsradien hat. Solche Flächen erhält man, wenn man, wie in Figur 37, einen Kreis um eine in seiner Ebene liegende, aber nicht durch seinen Krümmungsmittelpunkt gehende Achse rotieren läßt. Eine so entstandene Fläche nennt man eine Wulst- oder eine torische Fläche.

Fig. 37.



Die Entstehung einer torischen oder Wulstfläche. Der zu dem Radius r_2 gehörige Rotationsbogen ist zum Unterschied gegen die Meridiankurve punktiert ····· worden.

Bei diesen Überlegungen war stets an der stillschweigenden Voraussetzung festgehalten worden, daß die astigmatische Deformation des die Brille verlassenden Büschels nur an einer Fläche herbeigeführt würde, sei sie nun eine zylindrische oder eine torische. Läßt man es aber zu, daß beide Grenzflächen des Brillenglases astigmatisch seien, so ergibt sich als einfachste Lösungsmöglichkeit die der gekreuzten Zylinderflächen, wobei jede der beiden Flächen die Refraktion in dem auf ihrer Achse senkrecht stehenden Hauptschnitt korrigieren muß. Verständlicherweise kann man auch hier noch unter Voraussetzung dünner Linsen eine beliebige sphärische Wirkung additiv an der einen und subtraktiv an der andern Fläche anbringen und erhält dann eine toro-torische Linse von einer solchen Beschaffenheit, daß ihre Wirkung in der Richtung der Hauptachse wiederum die anfangs vorgeschriebene ist.

Es sei hier im Vorbeigehen bemerkt, daß man aus dieser allgemeinen Form der Linsen mit vorgeschriebenem Achsenastigmatismus die einfacheren, nämlich die sphäro-torischen und die sphäro-zylindrischen, ableiten könnte, wenn man die Willkürlichkeit der Verteilung der Zylinderwirkung auf die beiden Grenzflächen aufheben würde. Eine Entscheidung über den

Gebrauchswert dieser verschiedenen Formen kann aber ganz ebenso wie in dem viel einfacheren Falle der Brillen für achsensymmetrische Augen erst dann gegeben werden, wenn man das Sehen mit bewegtem Auge der Betrachtung zugrunde legt.

Die Behandlung der astigmatischen Brillen, die nunmehr folgt, soll den Fall der toro-torischen Linsen nicht umfassen, sondern sich auf eine möglichst eingehende Auseinandersetzung der Möglichkeiten beschränken, die durch Linsen mit einer Umdrehungs- und einer torischen Fläche geboten werden.

b) Die Brille in Verbindung mit dem astigmatischen bewegten Auge.

§ 56. Wie kurz zuvor bemerkt, wird den Inhalt dieses Kapitels die Behandlung des Blickens durch eine astigmatische Brillenlinse bilden.

Für jenen einfacheren Fall, wo Auge und Brille Umdrehungssysteme waren, genügte es vollständig, über die beim Blicken erfolgende Augenbewegung durch die Angabe unterrichtet zu sein, daß sich das Auge in seiner Höhle wie in einem Kugelgelenk, d. h. um sein Drehungszentrum, bewege. War dann längs eines diesen Ort auf der Augenseite durchsetzenden Hauptstrahls der Astigmatismus für das Brillenglas aufgehoben, so wurde er durch das System des Auges nicht eingeführt, da dieses stets in der Richtung seiner Achse von dem Hauptstrahl durchsetzt wurde. Gab es aber für irgend einen Hauptstrahl eine astigmatische Deformation des hindurchtretenden engen Büschels, so konnte dies zwar dem Auge auffallen, aber die Orientierung der Hauptschnitte im Raume und die Größe des Fehlers wurden in dem Brillenglase selbst bestimmt.

Bei einem astigmatischen Auge kann man von vornherein über die Beeinflussung des von dem Brillenglase eingeführten Astigmatismus bei schiefem Durchblick keine Aussage machen, ehe nicht die Bewegung des Auges um seinen Drehpunkt genauer, d. h. in bezug auf die Orientierung seiner beiden Hauptschnitte im Raume, festgelegt ist. Wenn man auch weiß, daß sich das Auge um seinen Drehpunkt dreht, so ist doch eine gleichzeitig auftretende Rollung, d. h. eine Drehung des Augapfels um seine Gesichtslinie, von vornherein nicht ausgeschlossen. Das Gesetz, das diese Bewegungen in der Augenhöhle (Orbita) in der gewünschten Genauigkeit anzugeben gestattet, ist unter dem Namen des Listingschen bekannt. Es besagt, daß es eine in der Augenhöhle fixe Blickrichtung, die Primärstellung des Auges, gibt, von wo aus die Blicklinie nach einer beliebigen andern Richtung, einer Sekundärstellung des Auges, ohne Rollung des Auges gedreht werden kann, oder, was damit gleichbedeutend ist, daß die Ebene, die die Achse des in beliebiger Stellung befindlichen Auges und die Primärstellung der Augenachse enthält, einen beiden Blickrichtungen gemeinsamen Meridianschnitt des Auges darstellt.

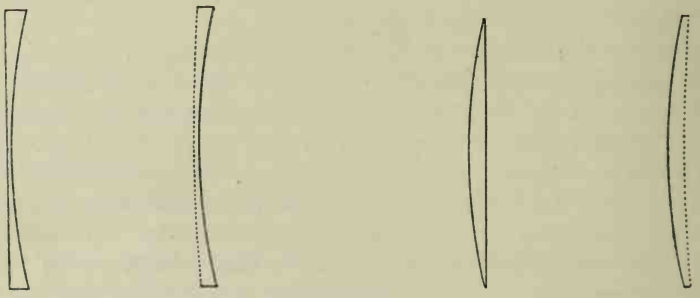
Läßt man nun die (hier stets als identisch mit der Augenachse angesehene) Blicklinie in der Primärstellung mit der Hauptachse der Linse zusammenfallen, so ist nach dem Listingschen Gesetze klar, daß keinerlei Rollungen des Auges eintreten, wohin man auch das Auge von der Primärstellung aus wenden möge, sobald sich nur die Blicklinie in einer Ebene bewegt. Betrachtet man aber das Hauptstrahlenbündel und verfolgt seine Elemente von der Augenseite durch das astigmatische Brillenglas, so folgt aus den Formeln für den Astigmatismus schiefer Büschel in astigmatischen Linsen, daß sich im allgemeinen für jeden nicht in einer Symmetrieebene der Linse liegenden Hauptstrahl eine verschiedene Orientierung der Hauptschnitte im Raume ergibt. Man könnte sich auch so ausdrücken, daß im allgemeinen mit der Änderung der Richtung eine Rotation der Hauptschnitte um den Hauptstrahl erfolgt. Man sieht leicht ein, daß die Orientierungswerte im Blickfelde der hier betrachteten Linsen zwar zweifach symmetrisch, aber bei sonst verschiedenen Systemen verschieden angeordnet sein werden.

Indessen läßt sich für gewisse Hauptstrahlneigungen eine allgemein gültige Aussage machen. Erweitert man bei den vorher besprochenen Linsenformen die für den Linsenscheitel (die Nachbarschaft der Hauptachse) gültigen Hauptschnitte, so erhält man in dem Bündel der Hauptstrahlen zwei einander senkrecht schneidenden Ebenen, die Symmetrieebenen der Linse, die beide für alle in ihnen liegenden Hauptstrahlen die Tangentialebenen sind. Man sieht ein, daß im allgemeinen nur auf Richtungen in diesen Symmetrieebenen keine Rotation der Hauptschnitte um den Hauptstrahl erfolgen wird. Da nun jene Ebenen gleichgerichtet sind mit den Hauptschnitten des Auges in seiner Primärstellung, so folgt aus dem Listingschen Gesetz, daß für eine beliebige Bewegung der Blicklinie in den beiden Symmetrieebenen die Hauptschnitte des Brillenglases und des Auges gleichgerichtet sind, und daß daher unter dieser Voraussetzung eine Zusammensetzung der Abbildungen und damit eine Aufhebung des Astigmatismus des Auges möglich ist. Alle andern Richtungen der Blicklinie können aber nicht mehr allgemein, sondern nur im Anschluß an die Durchrechnung eines gegebenen Systems behandelt werden. Das wird aber im folgenden nicht geschehen, sondern die Theorie der astigmatischen Brillengläser wird bei der Besprechung der Verhältnisse in den beiden soeben hervorgehobenen Symmetrieebenen Halt machen.

§ 57. Beschränkt man sich also ausdrücklich auf die Behandlung astigmatischer Linsen in den beiden Symmetrieebenen, so lassen sich die Forderungen für ihre Korrektion unter Berücksichtigung der an achsensymmetrischen Systemen gewonnenen Erfahrungen in der folgenden Weise entwickeln.

Stellt man sich das astigmatische Auge in einer solchen Bewegung vor, wie sie durch das Listingsche Gesetz definiert ist, so sieht man ein, daß mit den auf der Hauptachse für die beiden Hauptschnitte geltenden Objektabständen um den Augendrehpunkt als Zentrum Kugeln beschrieben werden. Diese Kugelflächen werden von den beiden Symmetrieebenen in je zwei konzentrischen Kreisen geschnitten, und zwar sind, wie bereits bemerkt wurde, diese Symmetrieebenen zu gleicher Zeit die Tangentialebenen für jeden in ihnen liegenden Hauptstrahl. Man wird also fordern müssen, daß die beiden Paare von Schnittkurven, die durch die Symmetrieebenen aus den Bildflächen des astigmatischen Brillenglases ausgeschnitten werden, konzentrische Kreise sind, die ihren Mittelpunkt im Drehpunkt des Auges haben, und deren Radien durch die am astigmatischen Auge bestimmten Objektabstände bestimmt sind. Es muß ferner der t-Kreis der

Fig. 38.



a b

Symmetrieebenen je eines sphäro-zylindrischen Glases

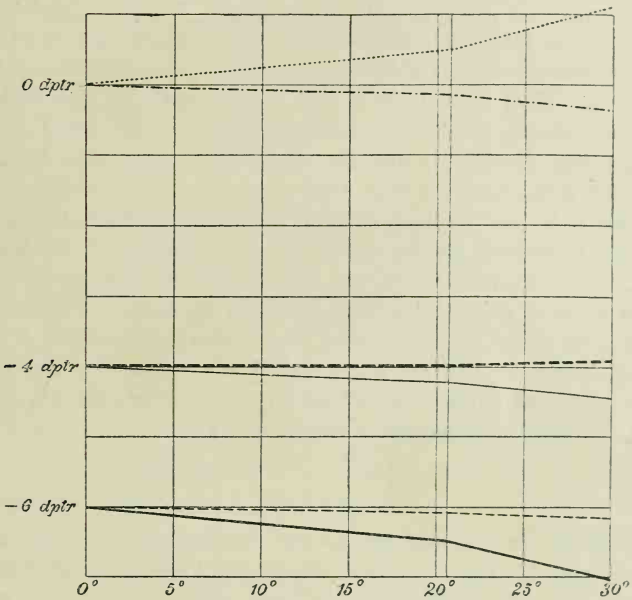
− 6, − 4 dptr + 6, + 4 dptr.

Die Rotationsbogen sind punktiert.

einen Symmetrieebene kongruent sein dem f-Kreise der andern. Denn wenn sich die Blicklinie nur in den beiden Symmetrieebenen bewegt, so fällt der t-Hauptschnitt des Auges zwar mit der einen Symmetrieebene stets zusammen, steht aber auf der andern immer senkrecht, und Entsprechendes gilt für den f-Hauptschnitt des Auges. Sind aber die Schnittkurven von dieser Form, so sind die Bedingungen dafür erfüllt, daß das ruhende astigmatische Brillenglas den Astigmatismus des bewegten Auges vollständig aufhebt, auch wenn die Blicklinie in der einen oder andern Symmetrieebene die stärksten Bewegungen macht. Man kann natürlich auch sagen, daß dann durch das aus ruhendem astigmatischem Brillenglas und bewegtem Auge bestehende System eine punktuelle Abbildung der Objektebene auf der Netzhaut des bewegten Auges erzielt werde, und in dieser Weise wird der innere Zusammenhang dieser astigmatischen Brillengläser mit den punktuell abbildenden des ersten Teils besser ersichtlich.

Nach den Erfahrungen, die an dem einfacheren Fall der achsensymmetrischen Systeme gesammelt wurden, wird man nicht an eine vollständige Erfüllung der Bedingungen bei Brillengläsern mit einer astigmatischen Fläche zu denken wagen. Es wird sich vielmehr herausstellen, daß man mit den Mitteln der sphäro-torischen Gläser nur einem Teile dieser Forderungen nachkommen kann. Es wird indessen das Verständnis erleichtern, wenn zunächst einmal die Abweichungen dargestellt werden, die in ganz gewöhn-

Fig. 39.



Darstellung der reziproken Schnittweiten in den beiden Symmetrieebenen einer sphäro-zylindrischen Linse − 6, − 4 dptr.

Die Kurven der f-Werte sind ausgezogen, die der t-Werte gestrichelt und die beiden Symmetrieebenen durch die Strichstärke unterschieden.

Im oberen Teil ist die Abweichung des Astigmatismus längs Hauptstrahlen endlicher Neigung gegen den vorgeschriebenen Astigmatismus längs der Achse durch die beiden Kurven ····· und —·—·— angegeben.

lichen astigmatischen Brillengläsern auftreten, deren Form ohne besondere Rücksicht auf die Bewegung des Auges bestimmt wurde. Als solche sollen die in Figur 38 angenommenen sphäro-zylindrischen Gläser gewählt werden.

Entwickelt man die Formeln zur Bestimmung der Schnittweiten längs Hauptstrahlen in den beiden Symmetrieebenen und rechnet ein sphäro-zylindrisches Glas von gegebenem Astigmatismus durch für endliche Hauptstrahlneigungen, so sieht man, daß im allgemeinen Falle die beiden Paare

von Schnittkurven der Bildflächen mit den Symmetrieebenen weder Kreise sind, noch auch einander nur ähnlich sehen. Es wird mithin eine Drehung der Blicklinie in der einen oder der anderen Symmetrieebene stets einen Astigmatismus und im allgemeinen in den beiden Symmetrieebenen einen von ganz verschiedener Größe übrig lassen. Als Beispiel dafür mögen die Figuren 39 und 40 dienen, die sich je auf ein negatives und ein positives astigmatisches System beziehen.

Zum Verständnis der Figuren sei darauf aufmerksam gemacht, daß es sich hier um graphische Darstellungen in rechtwinkligen Koordinaten handelt, bei denen als Abszissen die augenseitigen Drehungswinkel w' der Blicklinie in den beiden Symmetrieebenen, als Ordinaten die in Dioptrien gemessenen Reziproken der Fokalabstände für ein unendlich fernes Objekt gewählt sind. Diese Fokalabstände sind bezogen auf eine zum Drehpunkt konzentrische Kugel, die den augenseitigen Linsenscheitel enthält oder den Punkt, an dem die Hauptachse die augennahe Linsenfläche durchstößt. Ist eine der Bildkurven ein zum Drehungszentrum konzentrischer Kreis, so stellt sie sich hier als eine Parallele zur X-Achse dar. Hat sie eine schwächere Krümmung als ein solcher Kreis, so nähert sich die Kurve in der Figur für größere w'-Werte der X-Achse, hat sie eine stärkere Krümmung, so entfernt sich in der hier gewählten Darstellung die Kurve von ihr. f-Kurven seien wie in anderen Darstellungen ausgezogen, t-Kurven gestrichelt dargestellt, und die Zugehörigkeit zur ersten oder zur zweiten Symmetrieebene sei durch verschiedene Strichstärken angedeutet.

Bei dem sphäro-zylindrischen Zerstreuungsglase

$$A_f = -4 \text{ dptr}; \qquad A_t = -6 \text{ dptr},$$

das für

$$x' = 25 \text{ mm}$$

und Drehungen der Blicklinie bis zu 30° durchgerechnet worden ist, ersieht man aus der Figur 39, daß die beiden Paare der astigmatischen Bildkurven gänzlich auseinanderfallen, und zwar betragen die größten Abweichungen zwischen den Paaren von Kurven, die eigentlich zusammenfallen sollten

für die schwächere Wirkung von — 4 dptr 0,5 dptr oder 12,5 % und
» » stärkere » » — 6 » 0,87 » » 14,5 %.

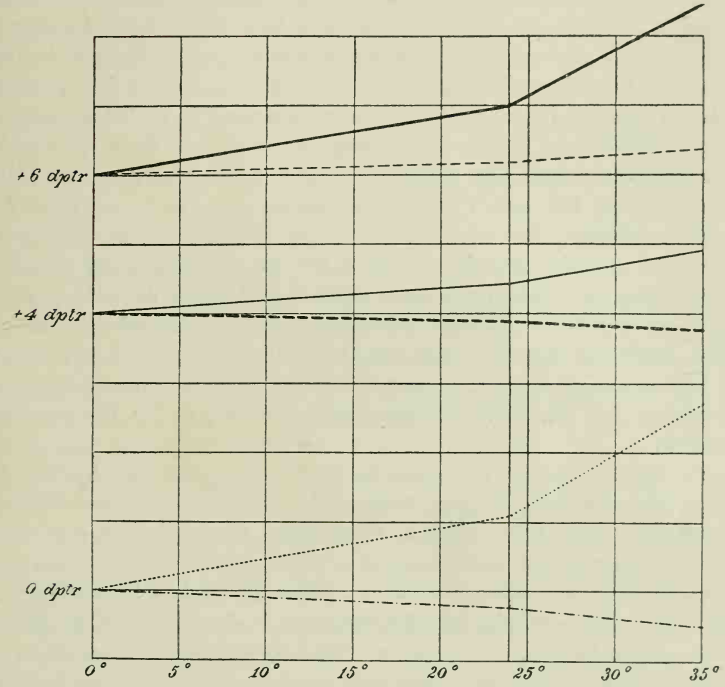
Während ferner in der einen Symmetrieebene (—— und ----) der Astigmatismus ziemlich ungeändert auf dem für die Achse geltenden Betrage von 2 dptr bleibt, jedenfalls nur 19 % davon vermißt werden, beträgt der Maximalwert des Astigmatismus in der anderen Symmetrieebene (—— und ----) über 3 dptr, was einer Steigerung des geforderten Astigmatismus für die größte Augendrehung in der einen Symmetrieebene um mehr als 50 % entspricht. Die Krümmung der Bildkurven in den Symmetrieebenen der Linse nimmt mit einer Ausnahme gegen den Rand hin zu.

Bei der sphäro-zylindrischen Sammellinse

$$A_f = 4 \text{ dptr}; \qquad A_l = 6 \text{ dptr},$$

die für den gleichen Blendenabstand aber — wegen der Verkleinerung der objektseitigen Neigungswinkel der Hauptstrahlen — für Drehungen der

Fig. 40.



Darstellung der reziproken Schnittweiten in den beiden Symmetrieebenen einer sphäro-zylindrischen Linse + 6, + 4 dptr.

Die Kurven der *f*-Werte sind ausgezogen, die der *t*-Werte gestrichelt und die beiden Symmetrieebenen durch die Strichstärke unterschieden.

Im unteren Teil ist die Abweichung des Astigmatismus längs Hauptstrahlen endlicher Neigung gegen den vorgeschriebenen Astigmatismus längs der Achse durch die beiden Kurven ····· und —·—·— angegeben.

Blicklinie bis zu 35° durchgerechnet worden ist, kann man noch wesentlich größere Abweichungen für die entsprechenden Kurvenpaare feststellen:

für die schwächere Wirkung von 4 dptr 1,16 dptr oder 29,0% und
» » stärkere » » 6 » 2,08 » » 34,7%.

Der Astigmatismus erfährt hier in beiden Symmetrieebenen eine Änderung und zwar beträgt diese in der einen (—— und ----) — 0,54 dptr oder 27% und in der anderen (—— und ----) + 2,70 dptr oder 135%

des für die Achse vorgeschriebenen Betrages. Die Krümmung der Bildkurven nimmt hier ebenfalls in drei Fällen gegen den Rand hin zu, wie man aus den Kurven der Figur 40 schließen kann.

§ 58. Wendet man sich jetzt, wo die Größe der zu hebenden Fehler bekannt ist, wieder der Erfüllung der oben mitgeteilten Forderung zu, so könnte man ganz entsprechend vorgehen wie bei den punktuell abbildenden Brillengläsern. Man würde auch hier die Vorrechnungsformeln aufstellen und dabei nur verschwindend kleine Augendrehungen berücksichtigen. In der Tat ist nach brieflichen Mitteilungen an den Verfasser A. Gullstrand bereits im Juli 1909 so vorgegangen, ja er hat sogar auch auf Augendrehungen Bezug genommen, die nicht in einer der beiden Symmetrieebenen vor sich gehen. Da aber die Erfüllung seiner Bedingungen bereits bei den Vorrechnungsformeln die Verfügung über drei Variable erfordert, die bei sphäro-torischen Linsen nicht zur Verfügung stehen, so soll hier die Untersuchung auf die Drehungen der Blicklinie in den Symmetrieebenen beschränkt bleiben. Es ist also die oben gestellte Forderung soweit als angängig zu erfüllen, wonach die Schnittlinien der beiden Bildflächen der Brille mit den Symmetrieebenen möglichst nahe mit den konzentrischen Kreisen zusammenfallen, die die beiden astigmatischen Fernpunkte bei den hier berücksichtigten Drehungen der Blicklinie beschreiben.

Als Mittel dazu gibt es einmal die Durchbiegung, die unbeschränkt ist, und sodann die verschiedenen Möglichkeiten, die astigmatische Wirkung anzubringen. Man kann nämlich ebensowohl die erste wie die zweite Fläche zu einer torischen machen und in jedem Einzelfalle die Umdrehungsachse der torischen Fläche in die eine oder die andere Symmetrieebene legen, so daß die Anbringung der torischen Wirkung vier Möglichkeiten ergibt. Ganz ähnlich, wie sich bei den achsensymmetrischen punktuell abbildenden Linsen zwei Durchbiegungen ergaben, für die der Astigmatismus schiefer Büschel gehoben war, die Ostwaltschen und die Wollastonschen Formen, so stellen sich auch hier stets zwei Durchbiegungen als möglich heraus. Man wird also im allgemeinen die Wahl unter acht Formen haben, um aus ihnen das Glas zu entnehmen, bei dem am besten die Bedingung für die Schnittkurven mit den Symmetrieebenen in erster Annäherung erfüllt ist.

Auch hier kann der Fall eintreten, daß sich bei der Beschränkung auf sphäro-torische Brillen imaginäre Durchbiegungen ergeben, und zwar ist das der Fall für Positivlinsen mit einer den Wert von etwa 7 dptr übersteigenden Brechkraft. Das Aushilfsmittel ist hier das gleiche wie in jenem Falle. Man wählt statt der sphärischen eine asphärische Grenzfläche und man erhält somit eine asphäro-torische Linse, eine Form, die

namentlich bei astigmatischen Augen Aphakischer in Betracht kommen wird. Auch diese Klasse der Gullstrandschen Linsen stellt also den Ophthalmologen neue Korrektionsmöglichkeiten zur Verfügung.

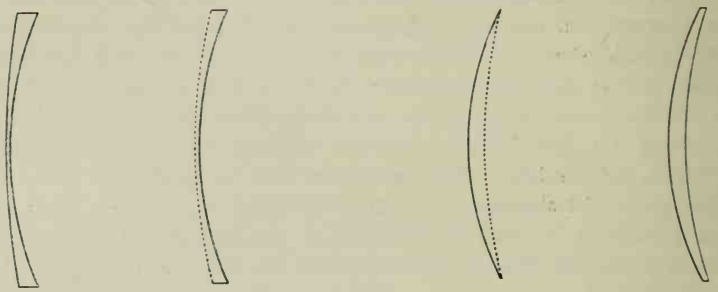
Handelt es sich nun darum, die Resultate der Verfolgung endlich geneigter Hauptstrahlen durch solche astigmatischen Systeme zu besprechen, so werden sich ganz ähnlich wie bei den achsensymmetrischen punktuell abbildenden Brillen Abweichungen von den in der Nachbarschaft der Achse geltenden Werten einstellen. So hatte sich beispielsweise dort gezeigt, daß das punktuelle Bild der achsensymmetrischen Brille im allgemeinen durchaus nicht mit der Fernpunktskugel des Auges zusammenfiel, und hier wird es sich herausstellen, daß der Astigmatismus auf den Hauptstrahlen endlicher Neigung nicht strenge dieselben Werte zeigt, wie sie für die Achse Geltung haben. Da es nun aber auf kleine Abweichungen bei den Schnittkurven der Bildfläche nicht ankommt, so soll die Annäherung an den Idealfall der Forderung als ausreichend angesehen werden, wenn die Fehler unter $^1/_4$ bis $^1/_2$ dptr bleiben. Man kann dann von Astigmatismus schlechthin reden, und er ist abgesehen von diesen Abweichungen für beide Symmetrieebenen mit der Hauptstrahlneigung nicht veränderlich. Auf diese angenäherte Unveränderlichkeit des Astigmatismus ist das Hauptgewicht zu legen, während es weniger darauf ankommt, daß die Objektfläche des aus Auge und Brille bestehenden Systems achsensymmetrisch ist, da die Abweichungen der Objektfläche von dieser Form durch die noch im hohen Alter vorhandene Akkommodationsbreite und bei aphakischen Augen durch die Schärfentiefe mehr oder minder vollständig ausgeglichen werden. Ist aber der Astigmatismus für bestimmte Grenzwerte der Augendrehung hinreichend konstant, so kann man mit genügender Annäherung von einer punktuellen Abbildung der Objektfläche durch das aus astigmatischem Brillenglase und bewegtem astigmatischem Auge gebildete System sprechen.

In den folgenden Beispielen, die sphäro-torische Linsen von der gleichen Wirkung wie im vorigen Falle darstellen, kann man erkennen, wie weit sich der Korrektionszustand dem Idealfalle genähert hat. Die auf die gleiche Scheitelkugel bezogenen Abstandsreziproken zeigen alle eine Abnahme der Dioptrienwerte, d. h. eine Minderung der Krümmung der Bildkurvenpaare. Dies bedeutet eine Abnahme der korrigierenden Wirkung überhaupt, während der Unterschied der Krümmungsänderung für die stärkere und die schwächere Wirkung eine Änderung des Astigmatismus mit der Neigung der Blicklinie bedeutet. Abgesehen von den in den entfernteren Sekundärstellungen bemerkbar werdenden Farbenfehlern wird man auch die monochromatische Wirkung des korrigierenden sphärotorischen Brillenglases für eine solche Hauptstrahlneigung zwar als ausreichend aber doch nicht als vollständig ideal beschreiben können. Es fehlt einmal eine gewisse sphärische Wirkung, und ferner müßte die

Zylinderwirkung zur Erreichung einer idealen Korrektion eine Zunahme erfahren; genauer wäre diese, soweit die hier vorliegenden Zahlenbeispiele in Betracht kommen, auf dem als Achse dienenden geneigten Hauptstrahle und zwar in jenem Hauptschnitte anzubringen, der dem Hornhauthauptschnitt von schwächerer Krümmung bei der gerade betrachteten Neigung der Blicklinie entspricht.

Die eingehende Besprechung der bereits angekündigten Beispiele wird diese Verhältnisse klarer machen.

Fig. 41.



Symmetrieebenen je eines zweckmäßig durchgebogenen sphäro-torischen Glases
— 6, — 4 dptr + 6, + 4 dptr.
Die Rotationsbogen sind punktiert.

In der Figur 42 ist der Korrektionszustand einer in Figur 41a abgebildeten sphäro-torischen Negativlinse zweckmäßiger Durchbiegung dargestellt, deren Brechkräfte in den beiden Achsenhauptschnitten stets auf eine durch den letzten Flächenscheitel gelegte, zum Augendrehpunkt konzentrische Kugel bezogen worden sind und durch

$$A_f = -4 \text{ dptr}; \qquad A_t = -6 \text{ dptr}$$

angegeben werden. Die erste oder Außenfläche ist eine torische, und die Radien haben die folgenden Werte in Millimetern in

der ersten Symmetrieebene	der zweiten Symmetrieebene
$r_1 = 117{,}7$ (mer.)	$r_1 = 81{,}0$ (rot.)
$r_2 = 49{,}9$	$r_2 = 49{,}9$

Berücksichtigt man Augendrehungen bis zu 30°, so erhält man die folgenden Daten:

	für die erste Symmetrieebene			für die zweite Symmetrieebene		
bei w'	0°	20,7°	30°	0°	20,7°	30°
	— 4	— 3,82	— 3,60 dptr	— 6	— 5,96	— 5,90 dptr
	— 6	— 5,93	— 5,76 dptr	— 4	— 3,90	— 3,74 dptr.

Nimmt man nun an, daß die Abweichungen der entsprechenden Bildkurven voneinander jetzt mit einem Maximalbetrage von 0,14 dptr für die stärksten Bewegungen der Blicklinie gering genug seien, um sie vernachlässigen zu können, so kann man die Mittelwerte bilden und diese als charakteristisch für die Krümmung der Bildkurven ansehen. Sie nehmen für die obigen drei Neigungswinkel die Werte an:

— 4	— 3,86	— 3,67 dptr
— 6	— 5,94	— 5,83 dptr

Fig. 42.

Darstellung der reziproken Schnittweiten in den beiden Symmetrieebenen einer zweckmäßig durchgebogenen sphäro-torischen Linse — 6, — 4 dptr.

Die Kurven der f-Werte sind ausgezogen, die der t-Werte gestrichelt und die beiden Symmetrieebenen durch die Strichstärke unterschieden.

Im oberen Teil ist die Abweichung des Astigmatismus längs Hauptstrahlen endlicher Neigung gegen den vorgeschriebenen Astigmatismus längs der Achse durch die für beide Symmetrieebenen gültige Kurve ····· angegeben.

es fehlt somit an den für die Achse vorgeschriebenen Beträgen bei den beiden Hauptstrahlneigungen endlicher Größe

für die schwächere Wirkung	— 0,14	— 0,33 dptr und
» » stärkere »	— 0,06	— 0,17 dptr,

und man bedürfte zur vollständigen Hebung des Astigmatismus für diese beiden ausgewählten Neigungen

$w' = 20{,}7^\circ$	$w' = 30^\circ$
sph. — 0,06 dptr ⊃ zyl. — 0,08 dptr	sph. — 0,17 dptr ⊃ zyl. — 0,16 dptr
Achse bei	Achse bei
— 6 dptr	— 6 dptr.

Jedenfalls erkennt man, daß die unkorrigiert bleibenden Fehler an sich geringfügig und kleiner sind, als die Farbenabweichungen bei den gleichen Neigungen der Blicklinie.

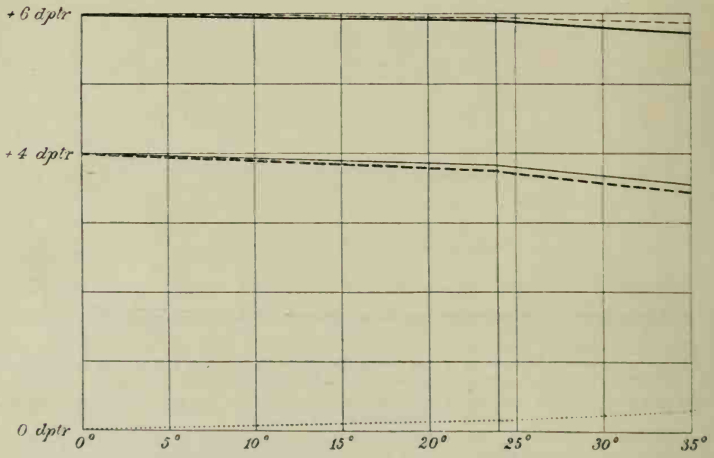
Geht man nun zu der in Figur 41b dargestellten Positivlinse über, deren Brechkräfte in den beiden Achsenhauptschnitten sind

$$A_f = 4 \text{ dptr}, \qquad A_t = 6 \text{ dptr},$$

und deren Konstruktionsdaten durch die folgenden Zahlen für die in Millimetern gemessenen Radien gegeben werden in

der ersten Symmetrieebene	der zweiten Symmetrieebene
$r_1 = 43{,}5$	$r_1 = 43{,}5$
$r_2 = 84{,}0$ (rot.)	$r_2 = 63{,}5$ (mer.)

Fig. 43.



Darstellung der reziproken Schnittweiten in den beiden Symmetrieebenen einer zweckmäßig durchgebogenen sphäro-torischen Linse $+6$, $+4$ dptr.

Die Kurven der f-Werte sind ausgezogen, die der t-Werte gestrichelt und die beiden Symmetrieebenen durch die Strichstärke unterschieden.

Im unteren Teil ist die Abweichung des Astigmatismus längs Hauptstrahlen endlicher Neigung gegen den vorgeschriebenen Astigmatismus längs der Achse durch die für beide Symmetrieebenen gültige Kurve ····· angegeben.

Wie man sieht, ist hier die zweite oder Innenfläche eine torische. Durch jene zweckmäßige Durchbiegung ließ sich eine Form erreichen, bei der sich nach Figur 43 die folgenden Werte für die beiden Bildkurven ergeben

	für die erste Symmetrieebene			für die zweite Symmetrieebene		
bei w'	0°	23,9°	35°	0°	23,9°	35°
	4	3,75	3,45 dptr	6	5,94	5,86 dptr
	6	5,92	5,73 dptr	4	3,84	3,55 dptr.

Nimmt man nun an, daß die Abweichungen der entsprechenden Bildkurven voneinander jetzt mit einem Maximalbetrage von 0,13 dptr für die stärksten Bewegungen der Blicklinie gering genug seien, um sie vernachlässigen zu können, so kann man die Mittelwerte bilden und diese als charakteristisch für die Krümmung der Bildkurven ansehen. Sie nehmen für die obigen drei Neigungswinkel die Werte an:

4	3,78	3,50 dptr
6	5,93	5,80 dptr.

Es fehlt somit an den für die Achse vorgeschriebenen Beträgen bei den beiden Hauptstrahlneigungen endlicher Größe

für die schwächere Wirkung	0,22	0,50 dptr und
» » stärkere »	0,07	0,20 dptr,

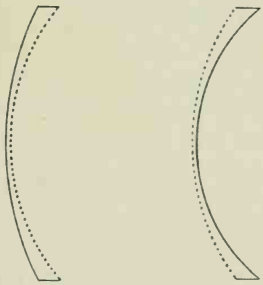
und man bedürfte zur vollständigen Hebung des Astigmatismus für diese beiden ausgewählten Neigungen

$w' = 23{,}9°$	$w' = 35°$
sph. 0,07 dptr ⊃ zyl. 0,15 dptr Achse bei 6 dptr	sph. 0,20 dptr ⊃ zyl. 0,30 dptr Achse bei 6 dptr.

Auch hier sind die übrig bleibenden Fehler an sich geringfügig und geringer als die Farbenabweichungen bei den gleichen Drehungen der Blicklinie.

§ 59. Sind auf diese Weise dem Leser die graphischen Methoden geläufig geworden, mit denen hier die Form des Brillenglases und der Gang der Reziproken der Bildabstände für jeden der beiden Hauptschnitte eines zweifach symmetrischen Systems dargestellt werden, so läßt sich jetzt eine Lücke ausfüllen, die im vorhergehenden hatte offen bleiben müssen. Es war nämlich bei den für achsensymmetrische Augen bestimmten Brillen (s. S. 68), soweit sie zu den zweifach symmetrischen Systemen gehören, ausdrücklich auf diese Stelle hingewiesen worden.

Fig. 44.



Symmetrieebenen für ein zweifach symmetrisches punktuell abbildendes System $D_1 = -5$ dptr mit gekreuzten Rotationsebenen.
Die Rotationsbogen sind punktiert.

Stellt man sich die Aufgabe, ein nur zweifach symmetrisches, punktuell abbildendes System so zu berechnen, daß die beiden Rotationsebenen aufeinander senkrecht stehen, so kommt man für

$$A_t = A_f = -5 \text{ dptr}$$

auf eine toro-torische Linse von der Form, wie sie die vorstehende Figur 44 darstellt. Die sehr umfangreichen Rechnungen dazu sind von H. Boegehold im Jahre 1910 ausgeführt worden. Es ergeben sich als Radien in der

ersten Symmetrieebene	zweiten Symmetrieebene
$r_1 = 44{,}2$ (mer.)	$r_1 = 34{,}2$ (rot.)
$r_2 = 31{,}0$ (rot.)	$r_2 = 25{,}6$ (mer.)

wenn als Brechungsexponent $n = 1{,}52$ angenommen wird.

Was nun den Zustand der schiefen Büschel angeht, so erhält man in der Tat bei diesem System eine wirkliche punktuelle Abbildung innerhalb eines großen Bildwinkels, aber es ergibt sich kein Vorteil gegenüber einem achsensymmetrischen Glase der gleichen Brechkraft. Im Gegenteil hat die Verzeichnung in den beiden Symmetrieebenen durchaus nicht den gleichen Betrag, und das kommt darauf hinaus, daß ein achsensenkrechtes Quadrat nicht als ein krummliniges Quadrat (s. etwa Fig. 14 auf S. 36), sondern als ein Rechteck mit krummlinigen Seiten abgebildet wird. Es hat vorderhand nicht den Anschein, als ob für punktuell abbildende Systeme solche toro-torischen Linsen in weiterem Maße Verwendung finden würden.

§ 60. Hatte es sich bisher um Korrektionsbrillen für astigmatische Augen gehandelt, so sieht man ohne weiteres ein, daß es sich auch bei astigmatischen Gläsern um das Problem der Presbyopen- und Lupenbrillen handeln kann.

Die Objektabstände $-a$ sind ungeändert die gleichen wie vorher auf S. 23, und es gilt

$$0{,}2 \text{ m} \leqq a \leqq 0{,}5 \text{ m}.$$

Die Bildflächen der sphäro-torischen Linse sollen in die Nähe der Nahepunktskugeln des astigmatischen Auges fallen. Im einzelnen Falle müssen von dem verordnenden Arzte die Werte für a und b angegeben werden, alsdann ist das Problem bestimmt, und die Rechnung kann in einer vollständig entsprechenden Weise angesetzt werden wie in dem Falle der Korrektionsbrillen.

2. Einfach symmetrische Gläser.

§ 61. Auch bei den astigmatischen Brillen kann aus demselben Grunde wie für achsensymmetrische Augen die Anbringung einer Prismenwirkung erwünscht sein. Dabei ist im allgemeinen kein Zusammenhang vorhanden zwischen der Symmetrieebene des Prismas und der Lage der beiden Hauptschnitte des Auges; vielmehr kann prinzipiell bei einer bestimmten Lage der Hauptschnitte in verschiedenen Augen eine prismatische Ablenkung in verschiedener Richtung erwünscht sein.

In dieser Allgemeinheit kann das Problem hier nicht behandelt werden, da ja die Diskussion der astigmatischen Brillen auf die Symmetrieebenen des Brillenglases beschränkt blieb. Es sei daher auch hier nur der Fall ins Auge gefaßt, wo die Symmetrieebene des Prismas mit einem der Hauptschnitte des Auges zusammenfällt.

Ist das der Fall, so macht die Konstruktion einer prismatischen astigmatischen Brille für ein ruhendes Auge keine Schwierigkeit. Es ist nur die astigmatische Fläche so zu wählen, daß der vorgeschriebene Astigmatismus As längs eines Hauptstrahls vorhanden ist, dessen Ablenkung sich durch die von dem verordnenden Arzte vorgeschriebene Centradzahl $\triangle$ bestimmt.

Alsdann ist allerdings noch nicht eine endliche Ausdehnung der punktuellen Abbildung gegeben, die durch das aus Brille und bewegtem Auge gebildete System in der Achsenrichtung vermittelt wird. Es läßt sich das vorläufig nur durch einen ähnlichen Kunstgriff ermöglichen, wie er bei den prismatischen anastigmatischen Brillen zum Ziele führte. Liegt der Fall vor, daß eine zweifach symmetrische astigmatische Brille von vorgeschriebenem Astigmatismus stark durchgebogen ist und ein besonders großes brauchbares Blickfeld zeigt, so kann man wiederum ein symmetrisch zur bevorzugten Richtung aber exzentrisch zur Hauptachse liegendes Stück herausschneiden. Man hat es so vor das Auge zu bringen, daß die Blicklinie in der Ruhestellung des Auges mit dem augenseitigen Teil des bevorzugten Hauptstrahls zusammenfällt. Daß der Astigmatismus bei Augendrehungen nach dem Listingschen Gesetz — wenn als Primärstellung die Richtung der ursprünglichen Brillenachse gilt — für ein endlich ausgedehntes Feld ausreichend korrigiert ist, folgt aus der Voraussetzung über das Blickfeld der zweifach symmetrischen Brille, und die starke Durchbiegung hat zur Folge, daß das Brillenglas nicht auffällig schräg gegen die Horizontale gestellt zu werden braucht, damit die Voraussetzungen der Rechnung erfüllt werden.

III. Die Farbenfehler der Brillen.

§ 62. Macht man sich jetzt von der bisher festgehaltenen Voraussetzung einfarbigen Lichts frei, so sind die Abweichungen zu untersuchen, die sich aus der spektralen Zerlegung des Lichts durch eine dünne Einzellinse ergeben. Man betrachtet zu diesem Zwecke zwei ausgewählte Farben, etwa rot und blau, wie sie etwa durch die Fraunhoferschen Linien C und F definiert werden mögen[1]). Ihre beiden Brechungsexponenten sollen die Differenz

[1]) Man mißt die Wellenlängen nach Millionteln von Millimetern und bezeichnet diese Größe mit

$$\Delta n = n_F - n_C$$

haben. Alsdann ergibt sich die Brechkraft der Brille in den beiden Farben zu

$$D_{1F} = (n_F - 1)\, k_1; \qquad D_{1C} = (n_C - 1)\, k_1,$$

wo zur Abkürzung gesetzt wurde

$$k_1 = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}.$$

Es folgt also

$$D_{1F} - D_{1C} = \Delta D_1 = \Delta n\, k_1 = \frac{\Delta n}{n_D - 1} D_{1D}$$

$$= \frac{1}{\nu} D_{1D},$$

wenn man die Bezeichnung

$$\nu = \frac{n_D - 1}{\Delta n}$$

einführt.

Man kann also sagen, die Brechkraftsvariation ΔD_1 einer einfachen Linse der mittleren (auf die D-Linie bezogenen) Brechkraft D_1 mit der Wellenlänge des Lichts ist für das Intervall zwischen C und F gegeben durch das Produkt aus dem Zerstreuungsvermögen $\frac{1}{\nu}$ und dem Mittelwert der Brechkraft. Die Brechkraftsdifferenz hat also dasselbe Vorzeichen wie die Brechkraft selbst, d. h. für blaues Licht ist die Zerstreuungswirkung einfacher Zerstreuungs- und die Sammelwirkung einfacher Sammellinsen größer als für rotes.

Hinsichtlich des vom Glasmaterial ausgeübten Einflusses gilt die Regel, je kleiner das Zerstreuungsvermögen, d. h. je größer der ν-Wert des Materials ist, desto geringer sind die farbigen Abweichungen.

Bei der hohen Wichtigkeit dieser Größe für das Studium der chromatischen Abweichungen hat man nach dem Vorgange von E. Abbe und O. Schott in den Glaskatalogen die Glasarten nach abnehmenden ν-Werten geordnet, so daß das leichteste Kron mit seinem großen ν-Wert an erster Stelle steht, und daß sich die Reihe allmählich bis zu dem schwersten Flintglas fortsetzt. Der größte ν-Wert unter dem regelmäßig für Brillen verwendeten Material findet sich bei Quarz mit $\nu = 70$. Das hauptsächlich

$$\mu\mu = 0{,}000\,001 \text{ mm}.$$

Man folgt dabei einem Vorgange von J. B. Listing (*1.*), der das Tausendstel eines Millimeters als Mikron einführte und mit

$$\mu = 0{,}001 \text{ mm}$$

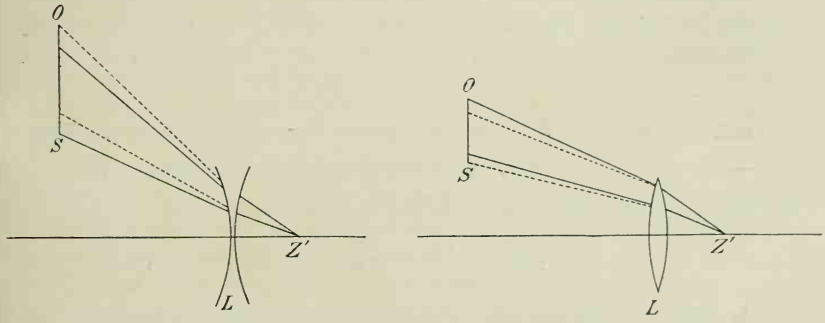
bezeichnete. Das rote Licht der Fraunhoferschen Linie C hat eine Wellenlänge $\lambda = 656\,\mu\mu$, das der gelben D-Linie $\lambda = 589\,\mu\mu$, das der blauen F-Linie $\lambda = 486\,\mu\mu$, und das der violetten G'-Linie $\lambda = 434\,\mu\mu$.

verwandte Spiegelglas hat $\nu = 60$ bis zu $\nu = 57$, während die Flintarten, die bei der Herstellung von Bifokalgläsern verwendet werden, wesentlich kleinere Zahlen, etwa $\nu = 36$ zeigen.

Nach diesen theoretischen Überlegungen wird es zweckmäßig sein, der Erscheinungsform des Farbenfehlers bei der einfachen Brille einige Aufmerksamkeit zu schenken.

Achtet man darauf, daß in jedem Falle der numerische Wert von D_{1C} geringer ist als der von D_{1F}, so wird man erwarten können, daß auch für die endlichen Winkel am Augendrehpunkt die Verkleinerung der objektseitigen Blickfeldwinkel w bei einer zerstreuenden, ihre Vergrößerung bei einer sammelnden Linse für blau stärker ist als für rot.

Fig. 45.



Schematische Darstellung der Farbensäume eines seitlich gelegenen schwarzen Objekts SO auf weißem Grunde für eine

Zerstreuungslinse — Sammellinse

und

(——) rote (·····) blaue Strahlen auf der Objektseite.

Die achsennahen Säume sind

rot — blau

und die achsenfernen sind

blau — rot.

Liegt also der für die Farbenwahrnehmung besonders günstige Fall eines schwarzen Objekts auf weißem Grunde vor, so folgt aus den beiden Figuren 45a und b unmittelbar, daß ein außeraxiales schwarzes Objekt bei Benutzung eines Zerstreuungs-(Sammel-)Glases auf der der Achse zugewandten Seite mit einem roten (blauen), auf der der Achse abgekehrten Seite mit einem blauen (roten) Rande umgeben gesehen wird.

Diese Farben nennt man primäre und zwar aus einem Grunde, der an sich bei der Brillenkunde nicht erörtert zu werden brauchte. Bei den optischen Instrumenten von verwickelterem Bau, wie dem Fernrohr und dem Mikroskop, machen sich nämlich trotz chromatischer Korrektion

gewisse Farbenreste bemerkbar, die man als sekundäre oder gar tertiäre Farben bezeichnet hat. Im Gegensatz dazu stehen die primären Farben bei chromatisch unkorrigierten Systemen.

Die primären Farben lassen sich bei jedem gewöhnlichen Brillenglase wahrnehmen, wenn man in außeraxialer Richtung aufmerksam die Ränder dunkler Objekte betrachtet, die sich von einem hellen Grunde abheben. Die Größe der notwendigen Schiefe hängt von der Brechkraft des Brillenglases und von der Empfindlichkeit des Beobachters ab.

1. Die Achromasie der Brechkraft.

§ 63. Es läßt sich denken, daß Versuche angestellt worden sind, die Farbenfehler des Brillenglases zu heben. Man ging dabei nach Analogie der altbekannten Instrumente zur Unterstützung des Sehens vor und bestimmte zwei dünne einander benachbarte Linsen so, daß die Brechkraft der Kombination bei dem Übergange von C zu F keine Variation zeigte

$$D_{1C} = D_{1F}.$$

Definiert man die Brechung der beiden Glasarten durch die Angaben

$$n' = n'_D; \qquad \Delta n' = n'_F - n'_C; \qquad n'' = n''_D; \qquad \Delta n'' = n''_F - n''_C,$$

und sei auch ihr Zerstreuungsvermögen entsprechend durch

$$\nu' = \frac{n' - 1}{\Delta n'}; \qquad \nu'' = \frac{n'' - 1}{\Delta n''}$$

charakterisiert, so ergeben sich nach dem Vorhergegangenen leicht für die dünnen Teilsysteme, deren Brechkräfte sein mögen

$$D' = (n' - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right); \qquad D'' = (n'' - 1)\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)$$

die Beziehungen

$$\Delta D' = \Delta n'\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right); \qquad \Delta D'' = \Delta n''\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)$$
$$= \frac{D'}{\nu'} \qquad = \frac{D''}{\nu''}.$$

Für das achromatische Gesamtsystem erhält man die Gleichungen

$$D_1 = D' + D''$$
$$\Delta D_1 = \Delta D' + \Delta D'' = \frac{D'}{\nu'} + \frac{D''}{\nu''} = 0,$$

und daraus ergibt sich ohne weiteres

$$D' = \frac{\nu'}{\nu' - \nu''} D_1; \qquad D'' = \frac{\nu''}{\nu'' - \nu'} D_1.$$

Die Aufgabe, ein dünnes abstandsloses System von zwei Bestandteilen zu achromatisieren, läßt sich also nur dann lösen, wenn zwei Medien

mit verschiedenem ν-Wert zur Verfügung stehen. Das ist nach den oben angeführten Daten der Fall. Bei einer solchen binären Kombination nennt man das Glas mit dem höheren ν-Wert das Kron- und das mit dem niedrigeren ν-Wert das Flintglas der Kombination. Aus den soeben für die Brechkräfte der Teilsysteme abgeleiteten Beziehungen folgt dann ohne weiteres, daß der Bestandteil mit dem höheren ν-Wert, die Kronlinse, das Zeichen der Gesamtwirkung erhalten muß. Hiernach führt also die Verwendung von verkitteten Sammelgläsern, wo die sammelnde Komponente aus Flintglas gebildet ist, auf eine Kombination, die in chromatischer Hinsicht nicht nur nicht verbessert sondern sogar verschlechtert ist. Solche Zusammenstellungen finden sich bei einzelnen Bifokalgläsern, wo sie offenbar deshalb angewandt werden, weil die in den Kronarten zur Verfügung stehende Differenz der Brechungsindizes nur verhältnismäßig gering ist. Genaueres darüber ist in dem Abschnitt über die Bifokalgläser (s. S. 64) mitgeteilt worden. Daß die Wirkung einer solchen unrichtig zusammengesetzten Kombination nicht noch schlechter ist, das liegt wohl hauptsächlich an der geringen Ausdehnung, die das Blickfeld des Zusatzglases in Bifokalbrillen hat.

Achromatische Brillengläser überhaupt werden schon ziemlich lange verwendet, und man hat sich bei ihrer Einführung wohl auf die großen Vorteile berufen, die die alten optischen Instrumente, das Fernrohr und das Mikroskop, aus der Durchführung der Achromasie gezogen haben.

Indessen ist dieser Schluß nicht ohne weiteres zulässig, da es sich bei Brillengläsern immer nur um dünne Büschel handelt. Da nun das Auge selbst mit chromatischen Aberrationen behaftet ist, so ist es gegen die stets verhältnismäßig geringen farbigen Längsabweichungen eines Brillenglases sehr unempfindlich. Das erkennt man auch daraus, daß man bei axialer Benutzung eines einfachen Brillenglases keine Farbenerscheinungen bemerkt.

2. Die Achromasie der Hauptstrahlneigung.

§ 64. Ganz so, wie bei den monochromatischen Aberrationen eine eingehende Formulierung der Korrektionsbedingungen erst möglich war, als die Augendrehung berücksichtigt wurde, verhält es sich auch mit den Bedingungen für die Wegschaffung der störenden Farbenerscheinungen.

Auch hier geht die Aufstellung der Korrektionsbedingung auf A. Gullstrand (*6. 41.*) zurück, und zwar ist die Forderung auszusprechen, daß für endliche Neigungswinkel das Auge keine chromatische Vergrößerungsdifferenz empfinde, während eine Längsaberration auf dem Hauptstrahle endlicher Neigung wohl zulässig ist. Diese Vorschrift steht in vollkommener Übereinstimmung mit dem Gebrauch des Auges beim Blicken. Durch die mechanische Drehung werden angulare Farbenfehler vollständig vermieden,

während natürlich der durch den Bau des Auges bedingte Betrag chromatischer Längsaberration bei jeder nur möglichen Blickrichtung wirksam ist.

Achromatische Systeme, die als Brillen benutzt werden sollen, müssen also für die beiden Hauptgrenzfarben identische Neigungswinkel im Augendrehpunkt zeigen

$$w'_C = w'_F .$$

Für die Berechnung ist es bequemer, den Strahlengang umzukehren. Denkt man sich einen Hauptstrahl endlicher Neigung von der Augenseite her in das System einfallen, so ist zu verlangen, daß seine beiden farbigen Komponenten, die nach der Brechung an der ersten Fläche bereits auftreten, die Objektebene an derselben Stelle durchstoßen. Ist das Objekt unendlich weit entfernt, so müssen sie einander parallel austreten. Unter diesen Bedingungen wird nämlich bei der im Gebrauch vorliegenden Umkehrung des Strahlenganges von einem diffus strahlenden Punkte der Objektebene eine rote und eine blaue Komponente ausgehen, die nach dem Durchtritt durch das System den Augendrehpunkt Z' unter derselben Neigung gegen die Achse

$$w'_C = w'_F$$

passieren.

Ist aber einmal eine solche Korrektion für einen endlichen Drehungswinkel erreicht, so gilt das gleiche auch für alle kleineren Drehungswinkel innerhalb der Genauigkeitsgrenzen, die unter diesen Umständen in Betracht kommen. Die Farbenempfindlichkeit des Auges ist in dem Falle der Brille, wo es sich nie um eine stärkere Winkelvergrößerung handelt, nicht sehr groß, und wenn nach der Bemerkung auf S. 97 die sekundären Farbenabweichungen unbesprochen bleiben können, so gilt das gleiche hier, wo es sich um die farbigen Zonen bei endlicher Neigung handelt.

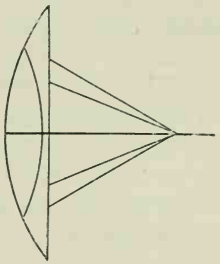
Achromatische Systeme mit gleichzeitiger Hebung des Astigmatismus schiefer Büschel.

Die Verbindung der Farbenfreiheit mit punktueller Abbildung läßt sich in einigen Fällen erreichen, über die im folgenden kurz gehandelt werden soll.

§ 65. Die achromatischen punktuell abbildenden Starbrillen. Aus dem vorhergehenden wird es klar geworden sein, daß eine Berechtigung der Forderung, die Farbenerscheinungen für endliche Hauptstrahlneigungen zu heben, erst bei starken Linsenwirkungen zuzugeben sein wird. Dabei fallen verhältnismäßig dünne Zerstreuungslinsen aus dem Grunde fort, weil bei den meisten hochgradig kurzsichtigen Augen die Sehfähigkeit zu sehr herabgesetzt ist, als daß sie unter diesen Umständen von der Hebung der Farbenfehler einen merklichen Vorteil verspüren könnten. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse für Positivlinsen hoher Brechkraft, die für

Staroperierte in Betracht kommen. Schon oben, auf S. 17, war darauf hingewiesen worden, daß diese Augen infolge des großen Wertes von $\frac{D_{11}}{D_{12}}$ ein gesteigertes Sehvermögen erhalten. Hier hat also die Farbenkorrektion einen Zweck, allerdings im wahren Sinne auch dann erst, wenn sie mit einer Beseitigung des Astigmatismus schiefer Büschel verbunden ist. Denn das wird man ganz allgemein behaupten können, daß die Beseitigung eines Fehlers schiefer Büschel allein nur eine unvollkommene Lösung des Problems darbietet, dem anomalen Auge eine deutliche Wahrnehmung zu ermöglichen. Man wird außerdem die Forderung aufstellen, daß die beiden dünnen Linsen einer achromatischen Kombination miteinander verkittet werden, und zwar wird man zweckmäßig die Flintlinse mit einer Trägerschicht versehen, um am Gewicht möglichst zu sparen. Dadurch, daß die Verkittung vorgeschrieben ist, bleibt nur ein Radius — die Durchbiegung der ganzen Kombination — verfügbar, denn durch die Herbeiführung der Achromasie und die Einhaltung einer bestimmten Brennweite f_1 ist die Brechkraft für beide Komponenten (s. S. 98 ganz unten) bestimmt worden. Diese Durchbiegung genügt aber auch zur Herbeiführung anastigmatischer Abbildung für schiefe Büschel längs Hauptstrahlen von endlicher Neigung. Allerdings ist zu dieser Überlegung zu bemerken, daß bei dem vorliegenden Problem der Achromatisierung einer Starlinse die Farbenfreiheit längs der Achse ziemlich belanglos ist, und also die angeführten Formeln nur zur ersten Vorrechnung dienen können. Das Wesentliche ist eben nach dem Vorhergegangenen die Aufhebung der chromatischen Neigungsdifferenz und des Astigmatismus längs diesen Hauptstrahlen endlicher Neigung.

Fig. 46.



Achromatische Starlinse mit planer Hinterfläche und Trägerschicht am Flintbestandteil.

Aus der nebenstehenden Figur 46 wird das Äußere einer solchen achromatischen Starlinse deutlich werden. Es bietet nämlich keine Schwierigkeit, durch geeignete Auswahl der Glasarten den Astigmatismus unter den außerdem vorgeschriebenen Bedingungen sogar mit einer planen Endfläche zu heben und so eine Form zu erhalten, die für die Herstellung in größeren Mengen gewisse Bequemlichkeiten bietet.

Schon oben war von der Notwendigkeit gesprochen worden, das Gewicht der für schiefe Büschel anastigmatischen Stargläser möglichst zu beschränken. Tatsächlich liegt dafür auch alle Veranlassung vor, denn infolge der Achromasiebedingung ergibt sich für achromatische Systeme mit endlichen Dicken die endgültige Brechkraft angenähert als die Differenz zwischen den Brechkräften der Kron- und der Flintlinse. Wenn man nun

weiß, daß die Sammelwirkung eines Systems für ein endliches Blickfeld notwendig eine bestimmte, von der Brechkraft abhängige Mitteldicke erfordert, so sieht man ein, daß sich diese Dicke hier nach der Kronlinse bestimmt, der die wesentlich höhere Brechkraft eigen ist.

Als eine nicht zu übersehende Abfolge ergibt sich mithin für achromatische Stargläser die folgende Vorschrift. Um ein sehr beträchtliches Gewicht zu vermeiden, beschränke man sich möglichst in der Größe des Blickfeldes, die man fordert, und schreibe für das Glas eine tunlichst geringe Entfernung vom Hornhautscheitel vor. Erscheint aber doch das Gewicht zu groß, so verzichte man lieber auf die Achromasie und wähle eine Gullstrandsche Starbrille. Überhaupt aber wird der Vorteil der Achromasie nur in ganz besonderen Fällen so weit gewürdigt werden, daß die damit verbundene Gewichtserhöhung gerechtfertigt erscheint.

§ 66. Die achromatischen Fernrohrbrillen. Es sei schließlich noch darauf hingewiesen, daß sich auch die für hochgradig kurzsichtige bestimmten Fernrohrbrillen ohne besondere Schwierigkeiten durch zweckmäßige Glaswahl auf Farbenfreiheit korrigieren lassen, ohne daß ihre sonstigen guten Eigenschaften eine Beeinträchtigung erfahren. Ist eine solche Korrektion durchgeführt, so liegt der Fall vor, daß sowohl die Farbenfehler schiefer Büschel als auch der Astigmatismus und die Verzeichnung längs Hauptstrahlen endlicher Schiefe gehoben sind. Beachtet man noch die Einfachheit der Konstruktion, so ist man zu der Aussage berechtigt, daß bei der Fernrohrbrille eine sehr weitgehende Ausnützung der verfügbaren Mittel erreicht worden ist.

IV. Die Änderungen der Raumerfüllung durch die Brille.

§ 67. Wenn im Vorhergehenden die verschiedenen Abweichungen und Korrektionsmöglichkeiten des Brillenglases erörtert wurden, so wurde stets an der Voraussetzung festgehalten, daß es sich um ein Einzelauge handele. Auch in diesem Abschnitt soll davon zunächst noch nicht abgesehen werden, aber es mögen für die ersten Überlegungen die verschiedenen Fehler zurücktreten; im Gegenteil, es sei zunächst einmal ein ideales, d. h. punktuell und verzeichnungsfrei abbildendes Brillenglas angenommen.

1. Die Änderung der Perspektive durch die Brille.

§ 68. Die jetzt zu behandelnden Eigenschaften der Brille lassen sich unter den gemeinsamen Gesichtspunkt bringen, daß die Brille die Betrachtung räumlich ausgedehnter Gebilde zu unterstützen hat. Handelte es sich nämlich wirklich stets wie bei Lupenbrillen um die deutliche Wahrnehmung der Objekte auf einer ebenen Druck- oder Schreibfläche, so wäre

angenähert das Thema mit dem Vorhergehenden erschöpft, wenn man sich nicht mit der für die übliche Größe des Blickfeldes minder wichtigen Lichtverteilung beschäftigen wollte. Das ist aber nicht der Fall, sondern es liegen in der Regel Objekte vor, die nach drei Dimensionen, also auch in der Richtung der Lichtbewegung selbst ausgedehnt sind.

Wie die Gesichtswahrnehmung beim einäugigen Betrachten körperlicher Objekte beschaffen ist, damit hat man sich seit Jahrhunderten beschäftigt, und die allmählich entwickelte Lehre von der Perspektive faßt die Gesetze zusammen, nach denen eine Darstellung eines dreidimensionalen Gebildes auf einer Fläche, in der Regel einer Ebene, möglich ist. Daß eine solche perspektivische Darstellung auch dem ungelehrten Beschauer ohne weiteres verständlich ist, das hat seinen Grund darin, daß die Annahme eines Projektionszentrums auch bei dem Sehvorgange verwirklicht ist, indem eben der Augendrehpunkt als dieses Projektionszentrum dient. Aus der Grundannahme für perspektivische Darstellungen ergibt sich sofort, daß sie nur dann naturtreu wirken können, d. h. dem Einzelauge die gleichen Blickwinkel vermitteln können wie die Betrachtung der dargestellten Objekte, wenn sie von dem zutreffenden perspektivischen Zentrum aus betrachtet werden.

Alles dies gilt zunächst von physischen Perspektiven, Zeichnungen oder Gemälden, bei deren Anfertigung der ausführende Künstler die Gesetze der Perspektive beobachtet hatte. Es gilt aber auch von den Bildern, die ein optisches Instrument entwirft; denn auch da handelt es sich, wie zuerst in klarer Erkenntnis A. Gullstrand (*6.*) betont hat, nur um einen Projektionsvorgang, genauer gesprochen, um die Darstellung, die die bildseitigen Hauptstrahlen auf der bildseitigen Schirmfläche ausstoßen. A. Gullstrand (*8.*) hat, wie auch schon in dieser Darstellung hervorgehoben wurde, den Zusammenhang zwischen der zweidimensionalen Anordnung der auf ein eng abgeblendetes System wirkenden Objektpunkte und ihrer Darstellung auf der bildseitigen Schirmfläche als punktuelle Korrespondenz bezeichnet, und hat damit den hier interessierenden Zusammenhang zwischen Objekt- und Bildraum möglichst allgemein hervorgehoben. Es ist nicht zu bezweifeln, daß sich auch die Abbesche Schule allmählich mehr und mehr mit dem Studium des Projektionsvorganges beschäftigt hat, aber diese Vorstellungen waren ihr stets enger oder loser verquickt mit der Voraussetzung einer gewissen Abbildungsfähigkeit des optischen Systems. Als nun durch die Gullstrandschen Schriften unwiderleglich der Nachweis geführt worden war, daß eine solche ausdrücklich oder stillschweigend vorausgesetzte Abbildung nicht existiere, da schien für den Schüler E. Abbes zunächst auch die Vorstellung von dem Projektionsvorgange ihre Gültigkeit zu verlieren. Das ist nun tatsächlich nicht der Fall, weil eben dieser Projektionsvorgang von dem der Abbildung vollständig getrennt zu halten und der

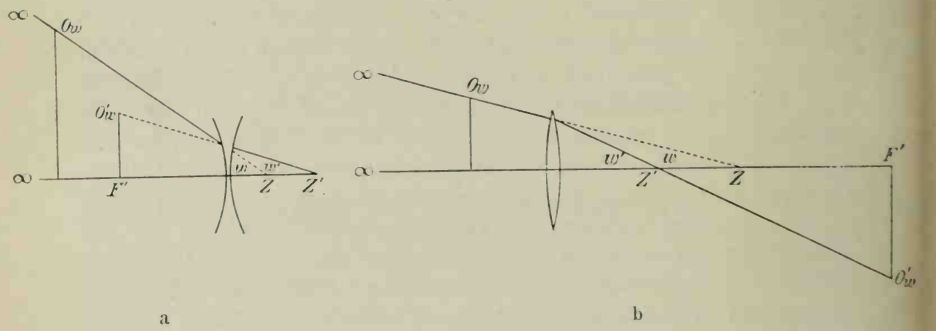
perspektivische Zusammenhang zwischen Objekt- und Bildraum auf die Lehre von der optischen Projektion aufzubauen ist.

Solcher Projektionen liefern die optischen Instrumente mannigfache Arten: weit bekannt und viel benutzt, wenngleich selten vollständig verstanden sind die von photographischen Objektiven gelieferten Perspektiven, während für die sogenannten Instrumente zu subjektivem Gebrauch als Schirmfläche im Normalfalle die unendlich ferne Ebene des Augenraumes in Betracht kommt.

Hält man an der eingangs gemachten Voraussetzung nicht verzeichnender Instrumente fest, so stehen die durch die photographischen Objektive erzeugten ebenen Perspektiven auf derselben Stufe wie die von Künstlerhand hergestellten perspektivischen Darstellungen auf ebenen Schirmflächen: sie vermitteln dem an das zutreffende perspektivische Zentrum gebrachten und ausreichend akkomodationsfähig vorausgesetzten Auge die gleichen Blickwinkel wie die Mannigfaltigkeit der Objektpunkte in der Wirklichkeit.

§ 69. Für die Instrumente zu subjektivem Gebrauch sei hier in Figur 47 a und b die Beschränkung auf die korrigierenden Brillengläser fest-

Fig. 47.



Die Projektion der Objektpunkte O_w auf die ferne Einstellungsebene mittels der Hauptstrahlen der Neigung w und die Verfolgung der bildseitigen Hauptstrahlen mit der Neigung w' bis zur Brennebene

für ein

zerstreuendes sammelndes

Korrektionsglas.

gehalten, auf die es in dieser Schrift besonders ankommt. Denkt man sich an den Achsenort von Z' die Mitte einer engen Blende gebracht, so entspricht ihr auf der Objektseite der scheinbare Augendrehpunkt Z, und zwar sei hier zunächst von seiner sphärischen Aberration abgesehen, da sie in bezug auf den Abstand der Objekte doch nur klein ist. Alsdann bestimmt die Projektion aller Objektpunkte von Z aus auf die unendlich ferne Schirmebene des Objektraums dort eine Darstellung, das objektseitige Abbild,

deren einzelne Punkte von dem scheinbaren Augendrehpunkt aus unter dem angularen Abstande w erscheinen.

Das nicht verzeichnende Brillenglas ordnet nun dem objektseitigen Hauptstrahlenbündel in Z das bildseitige in Z' zu und dem objektseitigen Abbild das nach Voraussetzung ihm ähnliche bildseitige Abbild, dessen einzelne Punkte von Z' aus unter den Winkeln w' erscheinen. Dabei ist nach S. 37 die Vergrößerung V_w nur durch die Durchstoßungspunkte der objekt- und der bildseitigen Hauptstrahlenbündel mit ihren zugehörigen Schirmebenen bestimmt.

Die beiden möglichen Fälle einer Zerstreuungs- und einer Sammellinse bieten gegeneinander einen Unterschied, der dem sehr ähnlich ist, demzufolge die Erhöhung der relativen Sehschärfe durch Sammel- ihre Verminderung durch Zerstreuungsgläser abgeleitet wurde. Da die objekt- und die augenseitigen Blickwinkel zu vergleichen sind, so wird es eben auch hier auf die Veränderung der Winkel ankommen, nur daß hier nicht wie auf S. 22 der vordere Augenhauptpunkt **H**, sondern der Augendrehpunkt Z' durch das Brillenglas in den Objektraum abgebildet wird. Bezeichnet also

$$V(\mathbf{x}', D_1)$$

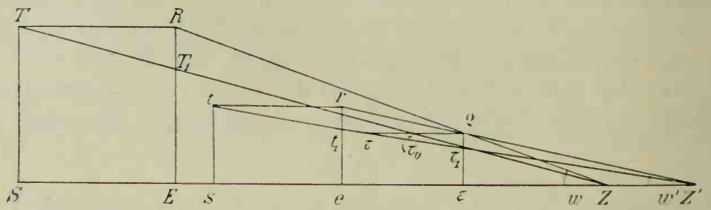
die Angularvergrößerung im paraxialen Gebiet in ihrer Abhängigkeit von $\mathbf{x}'$ und D_1, so ist damit für verzeichnungsfreie Systeme die Vergrößerung über das ganze Blickfeld gegeben, und man erhält das Ergebnis, daß verzeichnungsfreie Zerstreuungslinsen die objektseitige Perspektive dem Auge unter kleineren, verzeichnungsfreie Sammellinsen unter größeren Blickwinkeln vorführen.

Wie man sieht, ist diese Winkeländerung mit der Brechkraft des Brillenglases eng verbunden, und man kann sich die eine ohne die andere nicht denken, so lange es sich um feststehende Brillengläser vom Typus der einfachen, verhältnismäßig dünnen Linse handelt. Für diese gilt also die Aussage, daß nach Maßgabe ihrer Ametropie Myopen die Objekte unter zu kleinen, Hypermetropen sie unter zu großen Blickwinkeln sehen.

Im umgekehrten Verhältnis dazu steht die Ausdehnung des Blickfeldes oder die notwendige Größe der Brillengläser. Da der objektseitige Blickwinkel w eben von dem augenseitigen w' verschieden ist, so würde, wenn ein Blickfeld konstanter Ausdehnung $2w$ gefordert würde, der Myop mit einem wesentlich kleineren Durchmesser des Brillenglases auskommen, als der Hypermetrop, oder aber bei gleichem Glasdurchmesser hat der Myop ein wesentlich größeres Gesichtsfeld als der Hypermetrop. Auf der einen Seite ist das das Entgelt, das bei Zerstreuungslinsen gegen die angulare Verkleinerung gewährt wird, und auf der anderen der Preis, der bei Sammelgläsern für die angulare Vergrößerung zu zahlen ist.

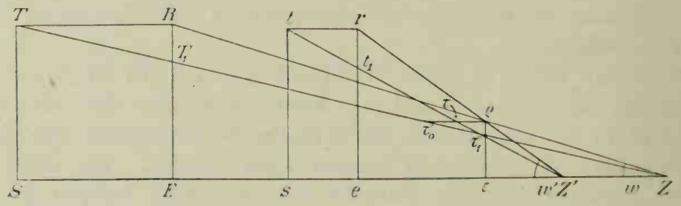
Für die Auffassung und Deutung der Perspektive ist es nun selbstverständlich nicht gleichgültig, unter welchen Winkeln sie dem Auge dargeboten wird. Das folgt schon aus der Bemerkung, daß eine perspektivische Darstellung nur dann den richtigen Eindruck des dargestellten Gebildes zu vermitteln vermag, wenn die auf der Objektseite geltenden Projektionswinkel wieder hergestellt werden. Ist das nicht der Fall, so führt eine Deutung der zwar verzeichnungsfreien, aber aus unrichtigem Abstande betrachteten Perspektive auf ein von dem Objekt abweichendes Raumgebilde, mit andern Worten, es stellt sich eine Änderung der Raumerfüllung ein. Es empfiehlt sich, an den beiden Fällen der Zerstreuungs- und der Sammellinse die Möglichkeiten näher zu betrachten, die hier verwirklicht werden können.

Fig. 48a.



Eine rein schematische Darstellung für die porrhallaktischen Änderungen bei einem zerstreuenden Brillenglase.

Fig. 48b.



Eine rein schematische Darstellung für die porrhallaktischen Änderungen bei einem sammelnden Brillenglase.

In den nebenstehenden Darstellungen, den Figuren 48a und b, die sich auf einen Meridianschnitt beschränken, sei als Objekt ein Quadrat *SERT* gewählt, und es liege *Z*, das scheinbare Drehungszentrum des Auges, in der Richtung der unteren Seite *SE*. Ferner sei vorausgesetzt, daß der Abstand *EZ* groß genug sei, um das Auge nicht zum Akkommodieren auf verschiedene Teile des Objekts zu veranlassen; diese Annahme ist berechtigt, weil infolge des geringen Pupillendurchmessers die Schärfentiefe des Auges für einigermaßen entfernte Objekte tatsächlich sehr beträchtlich ist. In der Wirklichkeit könnte *SERT* etwa einen Längsschnitt durch ein Gebäude oder eine Mauer darstellen.

Die Projektion der verschiedenen Objektpunkte auf die unendlich entfernte Schirmfläche bestimmt auf dieser eine ET_1R ähnliche, ebene Darstellung, die von Z aus unter den Winkeln w erscheint. Nach der auf S. 37 gegebenen Definition einer verzeichnungsfreien Linse und nach der hier notwendigen Umkehrung des Strahlenganges gilt zunächst für die in F' errichtete Bildebene, dann aber auch für jede ihr parallele, in dem beliebigen Achsenpunkte e errichtete Ebene

$$\frac{\operatorname{tg} w}{er} = \text{Const.},$$

wobei in Z' die Hauptstrahlneigungen w' auftreten.

Man betrachtet also die Darstellung et_1r, die dem objektseitigen, in unendlicher Entfernung entworfenen Abbilde ähnlich ist, unter Winkeln w', die von denen w verschieden sind, unter denen jenes im Objektraume entworfen wurde. Zwei ähnliche ebene Figuren ET_1R und et_1r, deren eine unter den Winkeln w, deren andere unter den Winkeln w' erscheint, müssen aber zu einer einzigen ebenen Darstellung (in der Zeichnung $\varepsilon r_1 \varrho$) in bezug auf Z und Z' perspektivisch liegen, so daß gelten muß

$$\frac{\operatorname{tg} w}{\operatorname{tg} w'} = \frac{\varepsilon Z'}{\varepsilon Z}.$$

Offenbar wird durch die Lagenänderung des Projektionszentrums zunächst nur die Größe der Augendrehwinkel betroffen, und es bleibt auch bei dieser Änderung, wenn es sich um unbekannte Objekte handelt. Liegen aber bekannte Objekte vor, so kommt die Erfahrung ins Spiel, und es entspricht einer Änderung der Blickwinkel eine Modifikation der Raumdeutung, deren wichtigster Fall hier behandelt werden soll.

Wird, wie oben angenommen, eine Mauer betrachtet, so lehrt die Erfahrung von den Größenverhältnissen, daß der Höhenunterschied der unteren gegen die obere Kante für die ganze Mauer konstant ist, oder daß die obere Kante der unteren parallel läuft. Der Brillenträger wird also geneigt sein, durch r eine Parallele rt zu se zu ziehen und ihren Schnittpunkt t mit der Richtung $Z't_1$ als das Ende der Mauer aufzufassen. Diese als porrhallaktisch[1]) bezeichnete Veränderung der Seitenlänge sei durch die Größen

$$\frac{TR}{RE'} \quad \frac{tr}{re}$$

gemessen. Zieht man noch durch ϱ die Parallele ϱr_0 zur Achse, so ergibt sich leicht

[1]) Von πόῤῥω fern und ἀλλάττω ändere, nach M. von Rohr (4. 289).

$$\frac{TR}{RE} = \frac{\tau_0 \varrho}{\varrho \varepsilon}; \quad \frac{tr}{re} = \frac{\tau \varrho}{\varrho \varepsilon}$$

$$\frac{TR}{RE} : \frac{tr}{re} = \tau_0 \varrho : \tau \varrho = \varepsilon Z : \varepsilon Z' = \frac{\varepsilon Z}{\varrho \varepsilon} : \frac{\varepsilon Z'}{\varrho \varepsilon}$$

$$= \operatorname{ctg} w : \operatorname{ctg} w'.$$

In Worten heißt das, ein verzeichnungsfreies Brillenglas vermag nach Maßgabe der Änderung der Blickwinkel eine porrhallaktische Änderung des Raumbildes zu verursachen, und zwar entspricht einem zerstreuenden Glase eine Vertiefung, einem sammelnden eine Abflachung des ursprünglichen Reliefs. Der Grund für diese Erscheinung liegt darin, daß die vergrößernde oder verkleinernde Wirkung der Brillengläser nicht die Tiefendimension, sondern nur die beiden Querdimensionen (Breite und Höhe) betrifft.

§ 70. Es war ausdrücklich der Ausdruck »vermag zu verursachen« gewählt worden, denn es liegt bei einäugiger Betrachtung kein Zwang vor, gerade diese Deutung anzunehmen. Es ist auch möglich, daß die Erinnerung mehr an der Tiefenerstreckung haftet als an dem Größenverhältnis der Seitenausdehnung. In einem solchen Falle würde man also bei der Rekonstruktion des Raumbildes von der Erfahrungstatsache Gebrauch machen, daß die Tiefe SE gleich ist der Höhe RE. Geschieht das, so hört das Raumbild auf, ein Parallelogramm zu sein, und es ergibt sich dann im Falle der Zerstreuungslinse eine Verkleinerung der Höhe des Hintergrundes, bei Sammellinsen aber eine Vergrößerung. Indessen sind das Wirkungen, die man seltener bei Brillen, öfter aber bei der Betrachtung von Photogrammen bemerkt, die in unrichtiger Entfernung aufgestellt worden sind. Werden Aufnahmen mit Objektiven kurzer Brennweite der Akkommodationsschwierigkeit wegen aus einem zu großen Abstande (d. i. unter zu kleinen Blickwinkeln) betrachtet, so ergibt sich bei bekannten Objekten der Vordergrund häufig zu hoch, der Hintergrund zu niedrig. Diese Erscheinung wird manchmal als »Weitwinkelperspektive« eingeführt. Ist, was seltener vorkommt, der Betrachtungsabstand zu klein, so kann sich der umgekehrt veränderte Eindruck ergeben, und man hat dem photographischen Teleobjektiv diese perspektivischen Untugenden nachgesagt. Bedient man sich also dieser, bei der Verbreitung der Photographie vielen bekannt klingenden Ausdrucksweise, so kann man sagen, daß unter Umständen Zerstreuungsgläser einen Eindruck von der Außenwelt vermitteln können, der der Perspektive eines Weitwinkelobjektivs, Sammellinsen einen solchen, der der Perspektive eines Teleobjektivs nahe kommt.

Bei einäugiger Betrachtung wird meistens wohl die Deutung des Raumbildes zwischen den beiden Grenzen liegen, deren eine durch eine rein porrhallaktische Veränderung der Tiefen, deren andere durch eine allein die Höhen betreffende perspektivische Umgestaltung angegeben wird.

Wünscht man sich eine Vorstellung von der Wirkung eines solchen idealen Brillenglases zu verschaffen, so geschieht das am besten mit Hilfe verzeichnungsfreier photographischer Aufnahmen. Beträgt nämlich für den Blendenabstand von 30 mm und die Brechkräfte der dünnen Brillengläser

$$D_1 = -6 \text{ dptr}; \quad \frac{\operatorname{tg} w}{\operatorname{tg} w'} = 1{,}18$$

und für

$$D_1 = +4 \text{ dptr}; \quad \frac{\operatorname{tg} w}{\operatorname{tg} w'} = 0{,}88,$$

so muß eine photographische Aufnahme, die mit einem Objektiv von 25 cm Brennweite hergestellt worden ist, von einem Normalsichtigen einäugig aus der Entfernung

29,5 cm 25,0 cm 22,0 cm

betrachtet werden, wenn derselbe Eindruck vermittelt werden soll, den ein mit

— 6 dptr ± 0 dptr + 4 dptr

bewaffnetes Auge erhält. Da eine Akkomodation auf 22,0 cm nicht jedem Auge möglich ist, und da auch die Vergleichung durch Abstandsverminderung nicht sehr bequem ist, so kann man lieber an dem Betrachtungsabstand von 25 cm (oder einer anderen Entfernung) festhalten und die Aufnahmen entsprechend verkleinern (vergrößern), die die Wirkung von Zerstreuungs- (Sammel-) Linsen verdeutlichen sollen. Es ergibt sich dann für die zugrunde gelegte Aufnahme, wenn die Wirkung einer Bewaffnung mit

— 6 dptr ± 0 dptr + 4 dptr

einem Normalsichtigen ohne Abstandsänderung vorgeführt werden soll, eine Wiedergabe im

0,85 1 1,14

-fachen Maßstabe.

Ein noch lehrreicherer kontinuierlicher Übergang würde sich mit einem Projektionsapparat herstellen lassen, wie er früher für Phantasmagorien gebaut wurde.

Da diese Überlegungen für Normalsichtige angestellt wurden, so müßte man, um Brillenträgern den entsprechenden Eindruck zu vermitteln, andere Betrachtungsabstände wählen und zwar nach Maßgabe der Ametropie für Myopen kürzere, für Hypermetropen längere. Eine derartige Darstellung würde auch sehr gut die Nachteile erkennen lassen, unter denen ein brillenbewaffneter Myop einer hochgradigen Ametropie zu leiden hat, indem er eben Einzelheiten bestimmter Feinheit überhaupt nicht mehr wahrnimmt.

Diese Überlegungen gelten für verzeichnungsfreie Brillen, die sich, wie auf S. 61 bemerkt worden war, mit Hilfe einer asphärischen Fläche daneben auch noch als punktuell abbildende herstellen lassen.

Geht man nun auch noch auf die Verhältnisse von verzeichnenden Brillen ein, so weicht das Raumbild noch insofern von dem vorher beschriebenen ab, als der Maßstab der Wiedergabe nicht über das ganze Blickfeld konstant bleibt. Gerade Linien des Objektraums, die nicht die Achse schneiden, erscheinen also in der früher (S. 36) beschriebenen Weise gekrümmt. Eine derartige Änderung tritt, wie gleichfalls schon bemerkt wurde, bei den gewöhnlichen punktuell abbildenden Brillengläsern auf. Der Brillenträger gewöhnt sich zwar schnell an diesen Fehler, doch wird er leicht bemerkt, sobald man die Aufmerksamkeit darauf richtet. Ein besonderer Nachteil aber wird für das einäugige Sehen dadurch nicht verursacht.

2. Die Brille als Instrument für beide Augen.

§ 71. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle wird nun nicht ein einzelnes Brillenglas benutzt, sondern der Brillenträger bewaffnet ein jedes seiner beiden Augen. Ihre Drehungszentren sind in einem horizontalen Abstand voneinander angeordnet, der als die Augenbasis **I** bezeichnet wird, und für den die Ungleichung gilt

$$50 \text{ mm} \leqq \mathbf{I} \leqq 74 \text{ mm}.$$

Auch hier wird man zu scheiden haben zwischen den Wirkungen idealer verzeichnungsfreier Brillengläser und den weiteren Änderungen der Raumerfüllung, die durch die Verzeichnung der gewöhnlichen, punktuell abbildenden Brillengläser hervorgerufen werden.

§ 72. Die Porrhallaxie der idealen Brille. Nimmt man einen Beobachter an, dessen beide Augen die gleiche Brechkraft haben (der Fall der Isometropie), so wird man, wenn es sich um ein ferneres Objekt handelt, die korrigierenden Brillengläser offenbar so miteinander verbinden, daß ihre Achsen einander parallel laufen und gerade aus nach vorn gerichtet sind. Nach den auf S. 51 vorausgeschickten Überlegungen entstehen dann auf den Bildflächen der beiden Brillengläser zwei bildseitige Abbilder, deren jedes von dem zugehörigen ametropen Auge betrachtet wird. Sobald Objekte in endlicher Entfernung vorliegen, ist die Perspektive dieser beiden Abbilder nicht identisch, da ja die beiden Projektionszentren verschiedene Stellen im Raume einnehmen, genauer gesagt, um die Augenbasis voneinander entfernt sind.

Ein jeder Punkt eines solchen bildseitigen Abbildes bestimmt nun mit dem zugehörigen Drehungszentrum eine Richtung, und diese Richtungen beider Augen schneiden sich im Raume in einem bestimmten Punkte, der zu dem beidäugigen Raumbilde gehört. Obwohl also jedes einzelne Abbild in endlicher, nicht sehr variierender Entfernung vom Augendrehpunkt

zustande kommt, weisen die Punkte des beidäugig gesehenen Raumbildes ganz verschiedene Abstände von der Augenbasis auf. Es tritt also bereits bei der Doppelbrille eine Trennung zwischen Konvergenz und Akkommodationszustand auf, und das ist charakteristisch dafür, daß ein stereoskopisches Instrument vorliegt. Aus der Theorie dieser Einrichtungen wird man die Folgen für die Vereinigung zweier Einzelbilder entnehmen können, die unter andern Blickfeldwinkeln betrachtet werden, als für die Aufnahmen in Betracht kamen. Genaueres findet sich bei M. von Rohr (*A. 289—291.*); hier sei nur das Ergebnis entnommen, daß das unter diesen Umständen zustandekommende Raumbild porrhallaktisch ist. Wenn man berücksichtigt, daß Doppelbrillen viel verbreiteter sind als Einzelgläser, so wird man verstehen, warum oben bei der Behandlung dieser Einzelgläser dem porrhallaktischen Eindruck, den sie vermitteln können, eine weit größere Bedeutung beigelegt worden war, als der dort auch möglichen perspektivischen Veränderung der Höhen im Vorder- oder im Hintergrunde.

Da die unvermeidliche porrhallaktische Wirkung nicht von der Objektentfernung abhängt, so wären von einem theoretischen Standpunkte aus nicht-verzeichnende Brillengläser auch für nahe Objekte, etwa als Arbeitsgläser für presbyope Ametropen, mit parallelen Achsenrichtungen und so anzuordnen, daß der Achsenabstand gleich der Entfernung der Augendrehpunkte wäre. Eine derartige Einrichtung hätte den Vorteil, daß Ebenen, die zur Richtung der beiden Achsen senkrecht stehen, Ebenen blieben, wenn sich freilich auch ihr Abstand voneinander infolge der Porrhallaxie änderte, deren Einfluß man bei den hier vorausgesetzten dünnen Linsensystemen doch nicht entgehen könnte. Daß aber die beiden Linsenachsen die Objektebene nicht in demselben Punkte durchstoßen, ist ganz nebensächlich, wie ja auch diese Bemerkung von den Achsen der beiden Hälften eines gewöhnlichen Theaterglases gilt, mit dem man etwa ein Gemälde betrachtet, oder von den beiden Achsen der Fernbrille eines akkommodationsfähigen Ametropen, sobald er damit liest: hinsichtlich der Perspektive wird bei verzeichnungsfreien Instrumenten zur Unterstützung des freien unbehinderten Sehens nur verlangt, daß der Augendrehpunkt den vorgeschriebenen Achsenort einnehme. Infolge physiologischer Verhältnisse zwischen Akkommodation und Konvergenzinnervation, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, muß aber bei sammelnden Presbyopenbrillen sehr oft eine gewisse Konvergenz der allenfalls durch die beiden Augendrehpunkte gehenden optischen Achsen der Brillen vorhanden sein.

Von den vorhandenen Brillenformen sind nach dem Vorhergegangenen nur zu nennen die Gullstrandschen Gläser und die Fernrohrbrillen. Für die erstgenannte Konstruktion gilt das oben gesagte dann in vollem Umfange, sobald man bei den höheren Brechkräften vor einer entschiedenen Durchbiegung nicht zurückschreckt. Für die an letzter Stelle genannten stellt es

sich heraus, daß hier eine porrhallaktische Wirkung nicht auftritt, wenn die Blickwinkel w und w' auf der Objekt- und auf der Augenseite einander gleich sind. Eine solche Fernrohrbrille hat also für das damit bewaffnete Auge den Vorteil, daß sie nur seine Sehschärfe steigert, aber die Perspektive unverändert läßt, unter der es die Außenwelt wahrnimmt. Die Perspektive für ein jedes der beiden Augen ist von der eines am gleichen Orte befindlichen emmetropischen Auges überhaupt nicht verschieden, und deswegen stimmt auch sein Raumbild mit der beidäugigen Wahrnehmung eines Emmetropen genau überein. Für verzeichnungsfreie Fernrohrbrillen aber, bei denen der hintere Hauptpunkt nicht mit dem Augendrehpunkt zusammenfällt — und das wird die Regel sein — treten auch wieder porrhallaktische Wirkungen auf.

§ 73. Das beidäugige Sehen durch die gewöhnliche Brille. Alle vorher nicht genannten Brillen weichen aber insofern von dem Idealfalle ab, als sie verzeichnen. Das hat zur Folge, daß im allgemeinen die beiden von einem beliebigen Objektpunkte ausgehenden Hauptstrahlen im Augenraum Richtungen erhalten, die sich rückwärts verlängert nicht schneiden. Infolge dieses Umstandes ist es nicht mehr möglich, eine einfache Beziehung zwischen dem Objektrelief und dem Bildrelief abzuleiten, da es strenge genommen ein Bildrelief nicht mehr gibt. Ein einheitlicher Eindruck kann aber dennoch zustande kommen, weil der Träger einer solchen Brille leicht lernt, seine Augenmuskeln so spielen zu lassen, daß auch im allgemeinen Falle beim Blicken die Augenachsen mit den augenseitigen Hauptstrahlrichtungen zusammenfallen, so daß das Objektelement auf korrespondierenden Netzhautstellen abgebildet wird. Es ist aber offenbar die nähere Untersuchung der auf diese Weise zustandekommenden Lokalisierung nicht mehr eine Aufgabe der Optik, sondern eine solche der Physiologie oder Psychologie.

Die oben erwähnten Beziehungen zwischen Akkommodation und Konvergenzinnervation bieten namentlich bei der Anpassung von Bifokalgläsern gewisse Schwierigkeiten dar. Man hat sich in der Regel so zu helfen gesucht, daß man den Begriff des optischen Mittelpunkts benutzte und sich gegenwärtig hielt, daß alle diesen Punkt passierenden Strahlen im Objekt- und im Bildraum die gleiche Richtung innehalten. Bei einem Bifokalglase gibt es je einen solchen optischen Mittelpunkt für den Nahe- und für den Fernteil. Gröbere Abweichungen gegen die punktuelle Abbildung längs den Hauptstrahlen, die den optischen Mittelpunkt selbst oder seine Nachbarschaft durchsetzen, suchte man durch eine der verschiedenen Formen zu vermeiden, die im Vorhergehenden (S. 65 ff.) geschildert worden sind. Man hat ganz allgemein die Forderung gestellt, daß bei einer beidängigen Bifokalbrille die optischen Mittelpunkte der Naheteile einander mehr zu nähern seien als die der Fernteile.

Eine besondere Stelle nehmen die prismatischen Brillen ein, da bei ihnen nicht bloß die Drehungswinkel auf der Objektseite von denen der Augenseite abweichen können, sondern unter allen Umständen eine Veränderung der Konvergenz herbeigeführt wird. Dies kann dazu führen, daß das Objekt in einer andern Entfernung aufgefaßt und dann zu klein oder zu groß empfunden wird.

Was die astigmatischen Brillen angeht, so ändert die astigmatische Wirkung, die zur Herbeiführung punktueller Abbildung auf der Netzhaut notwendig war, natürlich auch die objektseitigen Blickwinkel w und zwar in jeder der beiden Symmetrieebenen in verschiedener Weise. Für Hauptstrahlen, die außerhalb dieser Ebenen verlaufen, ist der Zusammenhang darum noch schwieriger zu übersehen, weil die Richtungen vor und nach der Brechung dann zueinander windschief sind. Hier wird es besonders darauf ankommen, daß der Träger einer solchen Brille lernt, seine Augenmuskeln nach einem Gesetze zu bewegen, das ihm durch die Beschaffenheit seiner Brille auferlegt ist. Nähere Untersuchungen dieses physiologisch-psychologischen Problems sind anscheinend nicht vorhanden.

Hier mag nebenbei bemerkt werden, daß bei schwachen Wirkungen der Brillengläser auch die soeben berührten Abweichungen verhältnismäßig unbedeutend sind, und daher die Überlegungen für die Idealbrille auf solche Fälle noch angewandt werden können.

§ 74. Die Brillen für Anisometrope. Handelt es sich um Brillenträger, deren beide Augen nicht optische Systeme von gleicher Brechkraft haben und also Korrektionsgläser verschiedener Brechkraft bedürfen, ein Zustand, den man als Anisometropie bezeichnet, so werden geringere Unterschiede in der Brechkraft der beiden Brillengläser in einer ähnlichen Weise ausgeglichen. Obgleich unter diesen Bedingungen die den beiden objektseitigen Hauptstrahlen im Augenraume entsprechenden Richtungen einander auch in unendlicher Entfernung nicht schneiden, so lernt der Brillenträger bei geringeren Graden der Anisometropie doch bald, seine Augenmuskeln so spielen zu lassen, daß die Gesichtslinien jeweils mit den augenseitigen Richtungen der beiden Hauptstrahlen zusammenfallen. Bei stärkeren Brechungsunterschieden kommt ein psychischer Mechanismus zu Hilfe, durch den ein gewisser Grad von Tiefenwahrnehmung gewonnen werden kann. Nur in Fällen, wo dem Kranken die Einübung zu lästig wird, oder sonstige Gründe dagegen sprechen, verzichtet man auf ein beidäugiges Sehen und damit auf die dadurch ermöglichte Tiefenwahrnehmung.

Historischer Teil.

§ 75. Es ist nicht beabsichtigt, über die Geschichte der Brille hier von ihren ersten Anfängen an zu handeln, dafür muß auf so ausgezeichnete Werke wie das von E. Bock (*1.*) verwiesen werden. Vielmehr sei an dieser Stelle nach Möglichkeit das zusammengetragen, was man seit dem 18. Jahrhundert zur Verbesserung ihrer Leistungen, zur Anpassung an die Beschaffenheit des Auges und zur Korrektion von krankhaften Zuständen getan hat. Das alles soll hier in chronologischer Folge abgehandelt werden, da der systematische Teil eine sachliche Anordnung bringen wird.

Es wird sich ergeben, daß — ganz abgesehen von den keiner Prüfung unterliegenden Ansprüchen auf Musterschutz — ein sehr großer Teil der modernen Patente mehr oder minder der Originalität entbehrt, und wenn man das bei so wirksamen Prüfungsverfahren erlebt, wie sie dem deutschen und dem amerikanischen Patentamt vorgeschrieben sind, so kann wohl die Hoffnung ausgesprochen werden, der Leser werde den mannigfachen Lücken dieser Zusammenstellung gegenüber nicht zu hart urteilen und, wenn er sie ausfüllen kann, das Material durch private oder öffentliche Kritik dem Verfasser zugänglich machen.

1. Das Zeitalter grundlegender Erfindungen bis zum ersten Drittel des 19. Jahrhunderts.

§ 76. Die erste, trotz ihrer Kürze wissenschaftliche Behandlung der Brille, die sich in dem vorliegenden Material findet, geht auf den Hallischen Mathematiker Chr. G. Hertel (*1.*) zurück. In seinem Büchlein gibt er 1716 eine ziemlich eingehende Darstellung der Kenntnis, die Gelehrte damals von den Brillen gehabt haben mögen. Er scheint selber Presbyop gewesen zu sein, wie er auch diesen Zustand an erster Stelle behandelt. Er warnt vor der Verwendung gar zu starker Gläser und scheidet die Patienten in drei Klassen, je nachdem sie Brillen von 2 bis 3 dptr, 4 bis 5 dptr und schließlich 6 bis 8 dptr bedürfen. Die (hier umgerechnete) Abstufung erfolgte bei ihm nach dem Radius der Schleifschale, der ja gleichzeitig die Brennweite ergäbe. Als Leseglas für »Presbytae« gibt er dem schwach durchgebogenen Meniskus mit der konkaven Fläche nach dem Auge den Vorzug. Die Kurzsichtigen scheint er ganz analog angesehen zu haben, so gibt er genau die gleiche Einteilung für die bei ihnen vorkommenden Ametropien, während man doch dort wohl noch stärkere Grade erwarten sollte. Auch für sie lobt er den Meniskus, doch schlägt er vor, ihn so zu stellen, daß er die schwache konvexe Krümmung dem Auge zukehre.

Wenn dieser Irrtum nicht auf einem Druckfehler beruht, so läßt er erkennen, daß jener Vorschlag am kurzsichtigen Auge nicht ausreichend praktisch erprobt worden ist. Grünes Glas wird wegen seiner angenehmen, nicht blendenden Wirkung auf die Augen empfohlen. Die Wahl der rechten Brillennummer geschah durch subjektives Probieren. Als bequemes Hilfsmittel schlägt er eine plankonvexe Zonenlinse mit sechsfacher Abstufung der Brechkraft vor.

Sicherlich kamen seine Ideen viel zu früh zur Welt, und es wird sich zeigen lassen, daß noch eine sehr lange Zeit verstreichen mußte, bevor die Brillenoptiker auch nur auf dieser Höhe standen. So geht das kleine Schriftchen, das in einer ihm nicht gar zu fern liegenden Zeit in England erschien, auf die meisten seiner Ideen gar nicht ein.

§ 77. Das Büchlein, das nicht auf die erste Auflage beschränkt blieb, ist vor 1752 von dem Brillenoptiker J. Ayscough (*1.*) zu London veröffentlicht worden, einem Fabrikanten, der in der Art der damaligen Zeit auch ein ausgedehntes Ladengeschäft betrieb. Außer allgemeinen Anweisungen über die beste Art, Brillen anzupassen, die hauptsächlich auf die auswärtige Kundschaft berechnet war, denn Londoner Kunden probierten in seinem Laden das beste Glas aus »über dreißig verschiedenen Brillenarten« aus, empfiehlt er zwei Verbesserungen. Die erste ist optischer Natur und bezieht sich auf die Verwendung eines Glases von besserer Materialbeschaffenheit: es ist homogener, härter und etwas grünlich, so daß es, wie bei Chr. G. Hertel, gleichzeitig eine Art Schutzwirkung gegen grelles Licht ausüben kann. Die zweite Verbesserung bezog sich auf das Brillengestell, bei dem die gewöhnlichen, offenbar sehr federkräftigen Haltedrähte durch Federn mit Doppelgelenken ersetzt worden waren. Er rühmte seiner Erfindung besonders als Vorteil nach, daß bei ihr der unangenehme Druck auf Nase und Schläfen vermieden sei.

Ebenfalls auf dem Standpunkte einer ausgedehnten praktischen Erfahrung steht die kleine Anweisung von dem auch sonst wohlbekannten Optiker G. Adams (*1.*) aus dem Jahre 1789. Er erwähnt zum ersten Male die ziemlich weit verbreitete Mode, wonach man sich der Brillen in der Meinung bedient zu haben pflegt, sie dienten als Präservativmittel für das Sehvermögen. Im Laufe der Zeit wird diese Ansicht noch häufig ausgesprochen und bekämpft werden.

Die Verbesserungen, die von seinen Kollegen um diese Zeit ausgingen, scheinen nur geringen Anklang gefunden zu haben. So ließ sich A. Smith (*1.*) 1783 Doppelgläser schützen, die sowohl einzeln als miteinander verbunden getragen werden konnten. Seine Beschreibung ist nicht sehr deutlich, doch muß man wohl annehmen, daß bereits zu dieser Zeit die Bedürfnisse alterssichtiger Brillenträger durch eine Art von Zusatzbrillen

befriedigt werden sollten. Auch der ausgezeichnete Fachmann Ch. Chevalier hat in dieser Weise auf die Smithischen Doppelgläser hingewiesen und dessen Ausspruch ist ein größerer Wert beizulegen, da er wohl noch solche Gläser gesehen haben mag. Interessant ist es, daß sich die Methode, Presbyope durch Zusatzgläser zu unterstützen, so von höherem Alter herausstellt als die der Bifokalbrillen. Gleichfalls noch 1783 suchte W. Storer (*1.*) ein Patent für besonders klein zentrierte Gläser nach, die im wesentlichen nur die Strahlen von dem direkt fixierten Punkt hindurchlassen sollten. Dadurch wurde das Bildfeld auf seine scharfen Teile beschränkt, und ihn scheint die Folge davon, daß der Kopf fortwährend bewegt werden mußte, nicht weiter gestört zu haben.

§ 78. Das Jahr 1784 bringt aber einen großen Fortschritt, denn im Spätsommer berichtete Benjamin Franklin (*1.*), damals amerikanischer Gesandter am französischen Hofe, seinem Freunde G. Wheatley in London über seine Erfindung von Doppelbrillen, die ihm die deutliche Wahrnehmung naher und ferner Gegenstände ermöglichten. Drei Vierteljahre darauf ergänzte er seine kurze Notiz durch einen ausführlichen Bericht mit einer Zeichnung, aus der deutlich hervorgeht, daß er in jede seiner kreisrunden Glasfassungen zwei an einer horizontalen Trennungsgeraden zusammenstoßende Halblinsen hatte setzen lassen. Da die oberen Linsen von schwächeren, die unteren von stärkeren Sammellinsen genommen waren, so erlaubte ihm der Blick durch die oberen Hälften eine deutliche Wahrnehmung fernerer, durch die unteren näherer Gegenstände. Er beschreibt in seiner klaren Art sehr schön, wie ihm, der damals die französische Sprache besser verstand, wenn er das Mienenspiel des Sprechenden beobachtete, seine Brille gerade beim Speisen in Gesellschaft die Unterhaltung mit seinem Gegenüber außerordentlich erleichterte.

Ein Vorteil der Franklinschen Einrichtung ist ohne Zweifel der, daß die beiden Achsenrichtungen der übereinander angeordneten Halblinsen zusammenfallen, so daß in der Grenzlinie kein endlicher Sprung in den Richtungen für den Beschauer zustande kommt.

Wann jene Briefe B. Franklins zuerst veröffentlicht wurden, konnte nicht mit völliger Sicherheit festgestellt werden; die Erfindung muß aber doch zur Kenntnis der Zeitgenossen gekommen sein, denn es wird sich zeigen lassen, daß die Franklinsche Idee wahrscheinlich in England von den Optikern nach anfänglichem Sträuben aufgenommen wurde. England kommt dafür wohl allein in Betracht, denn in Frankreich begünstigten die Zeitläufte die Vornahme solcher Arbeiten nicht, und in dem deutschen Sprachgebiete zeigt sich schon um diese Zeit die merkwürdige Abkehr von der Verbesserung der Brille, die bis auf die neueste Zeit zu beobachten ist.

§ 79. Ziemlich um die gleiche Zeit, 1785, ließ sich H. Dixon (*1.*) eine ganze Reihe von Erfindungen durch ein Sammelpatent schützen, und darunter war auch ein Brillensystem nach Art der Fernrohrbrille. Eine solche Brille war aus einem positiven und einem negativen Bestandteil zusammengesetzt, und zwar hatte er dafür sowohl Spiegel als auch Linsen vorgesehen. Im ersten Falle mußte der durchbohrte Hohlspiegel dem Auge nahe stehen und der kleine Konvexspiegel den Objekten seine Rückseite zuwenden. Die Brille hatte dann etwa die Form eines vom Auge abgewandten Cassegrainschen Reflektors. Bei der Übertragung dieses Konstruktionsgedankens auf Linsensysteme hatte der Erfinder (*1. 9.*) nicht sehr zweckmäßigerweise ebenfalls das Sammelsystem auf der Augen-, das Zerstreuungssystem auf der Objektseite angebracht. Eine Möglichkeit, die Systeme einander zu nähern und sie voneinander zu trennen, war vorgesehen worden.

§ 80. Von Wichtigkeit ist in diesen Jahren, 1792, das Erscheinen der ersten großen Veröffentlichung des schottischen Arztes W. Cn. Wells (*1.*) über das beidäugige Sehen. Er machte in dieser Schrift auf eine Änderung aufmerksam, unter der beim Brillenträger das beidäugige Sehen dem Normalsichtigen gegenüber vor sich geht. Wenn er nämlich nahe Gegenstände durch seine Brille betrachtete, wobei die Strahlen durch die inneren Hälften beider Gläser traten, so mußten sich infolge der Prismenwirkung der exzentrisch benutzten Brillengläser die Pupillen mehr nähern als beim freien unbehinderten Sehen, und damit war ihm ein Anlaß zur Änderung der Akkommodation gegeben. Er ist später von E. Pergens (*1.*) deswegen als der Entdecker der prismatischen Brillen eingeführt worden, doch scheint es nicht sicher, ob man soweit gehen solle, da er anscheinend keine Überlegungen darüber angestellt hat, wie man die entsprechende Muskelanomalie zu heben habe. Sicherlich ist aber das Werk eines so klaren Kopfes für die Physiologen der Folgezeit von Bedeutung gewesen, soweit sie sich mit dem nicht ganz einfachen Problem des beidäugigen Sehens befaßt haben.

Derselbe Autor tat gelegentlich des schon erwähnten G. Adams als eines besonders gewissenhaften und erfahrenen Optikers Erwähnung; er habe die Bemerkung gemacht, daß Kurzsichtige in der Regel mit denselben Gläsern auskämen, wenn sie sie in Brillen für beide Augen trügen, während Monokelträger häufig nach einiger Zeit zu stärkeren Nummern griffen. — Ein Optiker D. Adams (*1.*) ließ sich 1797 eine Art Schielbrille schützen. Es handelte sich um ein ziemlich enges Diaphragma auf einem Brillengestell, das durch eine Art Kreuztischverschiebung innerhalb der Ovals verschoben werden konnte. Diese Einrichtung sollte schwache Muskeln allmählich stärken, indem das Diaphragma mit der Zeit immer mehr von der fehler-

haften (Schiel-) Stellung entfernt, und das Auge so nach und nach an die Lage gewöhnt wurde, die für das beidäugige Sehen erforderlich sei. Ähnliche Vorschläge sind auch später noch gemacht worden, doch scheinen sie im großem und ganzen den Mißerfolg des Adamsischen Patents geteilt zu haben.

Eine sehr interessante Beobachtung des englischen Optikers W. Cary teilte Th. Young (*1.*) 1800 mit, wonach dieser bemerkt hatte, daß manche Kurzsichtige besser sähen, wenn sie ihre Konkavgläser gegen die Gesichtslinie neigten. Daß der Astigmatismus dieser Erscheinung zugrunde liege, gab Th. Young in seinem Vortrage an.

§ 81. Das neue Jahrhundert wurde für die Brillenkunde in glänzender Weise eingeleitet durch den Vorschlag des erfindungsreichen Arztes William Hyde Wollaston (*1. 3.*), der 1804 in verschiedenen Artikeln seine periskopische Brillenform warm empfahl. Er sicherte sich in dem gleichen Jahre auch ein Patent (*2*) auf diese Erfindung, die von dem bestens bekannten Londoner Hause P. und J. Dollonds ausgeführt wurde. Der Streit mit einem sonst unbekannten Brillenoptiker W. Jones (*1. 2.*), der die Vorteile der gleichseitigen Brille vertrat, hat nicht allein den Vorzug, dem heutigen Leser ein kleines Bild von dem Leben und Treiben persönlicher Menschen jener Zeit zu zeigen, während sonst der Historiker der Brille zu seinem Leidwesen in der Regel auf das trockene Studium ruhmrediger Patentschriften angewiesen ist, sondern er läßt auch die gründliche Arbeit deutlich erkennen, die W. H. Wollaston seinem Thema gewidmet hatte. Wenngleich er in der näheren Beschreibung der Form nicht viel weiter geht, als das Chr. G. Hertel neunzig Jahre zuvor getan hatte, so gibt er (*2.*) einmal doch den Grund an, weswegen der Meniskus auf bessere Resultate führe: die Inzidenz solle möglichst senkrecht erfolgen, und dann läßt er keinen Zweifel über die richtige Stellung des negativen Meniskus aufkommen. Auch experimentell wird die Überlegenheit des neuen Typus festgestellt.

Zu jener Zeit aber blieb es bei diesem theoretischen Erkenntniszuwachs; in der Praxis scheint es sich — so viel Urteil wird man dem Gegner W. Jones (*2.*) wohl zutrauen können — nur um äußerst schwach durchgebogene Menisken gehandelt zu haben, so daß die Inzidenz der durchtretenden Strahlen recht weit von der senkrechten entfernt geblieben sein wird. Das kann auch nicht Wunder nehmen, denn der eigentliche Grund für die richtige Formgebung des Meniskus mußte unsicher bleiben, da der Augendrehpunkt noch unbekannt war — er wurde erst 1826 von J. Müller erkannt — und ferner lag es im Interesse des fabrizierenden Optikers, die gleichseitigen und die mit einer Planfläche versehenen Formen zu bevorzugen.

Allmählich waren in Frankreich mit der Herrschaft Napoleons I. gesicherte Verhältnisse eingetreten, und das zeigt sich auch in dem Auftreten einiger französischer Brillenpatente. Zunächst handelt es sich um das Einführungspatent des Optikers .. Biette (*1.*) vom Jahre 1808, wo sich die erste Abändernng der Franklinschen Bifokalbrille zeigte. Als Einführungsland wird man England anzusehen haben, doch ist zunächst leider der Optiker vollkommen unbekannt, auf den diese Abänderung zurückzuführen ist.

Es handelt sich um die Ersetzung der geraden Trennungslinie durch eine gekrümmte, und zwar ist der untere Teil kleiner und wird von dem oberen auch an den beiden Seiten umfaßt. Gegen die alte Franklinsche Form war nur der Rückschritt eingetreten, daß die Achsenpunkte in den Mitten der beider Linsenteile lagen, so daß an der Übergangskurve ein endlicher Sprung in den scheinbaren Richtungen stattgefunden haben muß. Allerdings scheint die Brillenfassung die Grenzlinie abgedeckt zu haben.

In ähnlicher Weise abhängig vom Ausland sind die Versuche des Pariser Optikers R. A. Cauchoix (*1.*), der sich schon um 1814 mit der Herstellung von periskopischen Linsen nach dem Wollastonschen Vorbilde befaßte. Er hat später aber selbständig die besten Krümmungen zu finden versucht und kam dabei auf ein Radienverhältnis von 5 : 8. Aus dem theoretischen Teil ist zwar bekannt, daß man von einem solchen für alle Nummern festen Radienverhältnis nicht sprechen kann, aber man wird dem Pariser Optiker solche Versuche immerhin hoch anrechnen müssen, zumal ja auch die Wollastonschen Angaben verbesserungsbedürftig waren. Zum Vergleiche braucht man nur an die sogar zwanzig Jahre später verfaßte Schilderung J. A. Fr. Arnolds (*1.*) zu denken, wonach in Deutschland bei der Annahme der periskopischen Brillenformen derartige Experimente nicht angestellt wurden.

Daß während der Kriegszeit in Frankreich der Mangel an Schulung in der Brillenkunde lebhaft gespürt wurde, läßt sich wohl aus der Bemerkung des Wiener Arztes G. J. Beer (*1.*) entnehmen, wonach seine im Jahre 1800 verfaßte Volksschrift über Augenschutz in Frankreich bis zum Jahre 1809 nicht weniger als vier Auflagen erlebt habe.

§ 82. Allmählich bereitete sich aber doch ein Umschwung vor. So findet sich um die Mitte des Jahres 1813 ein P. Galland und M. N. J. Chamblant (*1.*) erteiltes Patent, in dem Zylinderlinsen und auch eine Maschine zu ihrer Herstellung beschrieben wurden. Die beiden Autoren werden der Reihe nach als Geometer und als Glasarbeiter (bombeur de verres) bezeichnet[1]) und liefern so das Beispiel einer in der französischen Optik

1) Unter »bombeur de verres« verstand man nach einer liebenswürdigen Auskunft, die ich Herrn M. Dufour verdanke, zu jener Zeit Glasarbeiter, die

leider viel zu selten vorkommenden Verbindung zwischen einem Theoretiker und einem Praktiker. Der Patentschutz war auf Sonnenkraftmaschinen nachgesucht worden, und die Zylinderflächen erschienen hier als ein neues Mittel zur Hebung der sphärischen Aberration. Hier sei von einer aus dem Rahmen dieser Arbeit herausfallenden Kritik dieser Ansicht abgesehen, jedenfalls erscheint hier zuerst eine für die Korrektion des Astigmatismus des Auges außerordentlich wichtige Linsenform mit einer guten Durcharbeitung ihrer Herstellungsweise. An späterer Stelle soll das wenige hinzugefügt werden, was sich über die frühe Verwendung dieser Zylinderlinsen als eines Korrektionsmittels ermitteln ließ.

§ 83. Eine gewisse Übersicht über den damaligen Stand des Brillenwesens erhält man aus der bereits erwähnten Schrift des Arztes G. J. Beer (*1.*), der besonderes Interesse an der Augenheilkunde nahm. Einzelne hier bereits besprochene Ansichten müssen damals eine weite Verbreitung gefunden haben; so erwähnt er mit allen Zeichen der Entrüstung die kleinen Brillengläser, »die kaum die halbgeöffnete Augenliderspalte« deckten und deswegen ein sehr kleines Gesichtsfeld hätten. Es ist das sicherlich eine Frucht desselben Gedankenganges, der auch von W. Storer (s. S. 116) verfolgt worden ist. Auch die »Conservationsbrillen« machten dem Arzt das Leben schwer, da sie nach seiner Beschreibung eine ungemein weite Verbreitung gefunden haben müssen.

Seine weiteren Klagen lassen sich aber nicht so leicht auf ihren Ursprung zurückführen: die »vorzüglich in Leipzig verfertigten Röhrenbrillen« haben wohl gegen die Strahlung Schutz gewähren sollen, während die Einfassung »der Brillengläser mit breiten hörnernen oder schildkrötenen Rändern, welche die Engländer visual spectacles nennen«[1]), wohl ebenfalls auf englische Einflüsse zurückzuführen sind. Wenn nun G. J. Beer als unterrichteter Augenzeuge sehr willkommen ist, so wohnt seiner Schrift doch nichts von der grundlegenden Bedeutung inne, die seine englischen Standesgenossen wie W. H. Wollaston und W. Ch. Wells — von Th. Young ganz zu schweigen — in jener Zeit zu Lehrmeistern der ganzen brillenkundigen Welt machte.

größeren Glasscheiben durch Anwendung von Hitze eine bauchige Form gaben. Glassenker würde man etwa heute dafür sagen. In einer neueren Schrift wird M. Chamblant als Uhrmacher bezeichnet. Die auch sonst verbreitete Annahme eines Prioritätsstreits zwischen den beiden Franzosen um die Erfindung der Zylindergläser wird nach den oben gemachten Angaben hinfällig.

[1]) Nach der Angabe von W. Kitchiner (*1.* 7.) sind diese Gläser 1758 von B. Martin erfunden worden; er stützt sich dabei auf Aussagen seines Zeitgenossen G. Adams. B. Martin war ein zu jener Zeit bekannter, nicht kenntnisloser Optiker; es hat den Anschein, als ob er mit seinen visual spectacles einen gewissen Schutz gegen Strahlung hätte erreichen wollen.

§ 84. Ebenfalls 1813 erschien eine wichtige Sammlung von Abhandlungen aus der Feder des schottischen Gelehrten David Brewster (*1.*)[1] und sie enthält einen Artikel, der zwar nicht direkt das Thema der Brille behandelt, aber doch nahe damit verwandt ist. Es handelt sich nämlich um Einrichtungen, das Auge in den Stand zu setzen, gleichzeitig Gegenstände in verschiedenen Entfernungen scharf zu sehen. Er ermöglichte das durch verschiedene Arten von Bi- und Trifokalgläsern, bei denen aber die wirksamen Linsenteile auf einem sehr kleinen Raumgebiet angeordnet werden, damit die verschiedenen, von den betreffenden Objektpunkten ausgehenden Strahlenkegel gleichzeitig in die Augenpupille treten könnten. Er bohrte zu diesem Zwecke entweder einen Teil der Linse aus, oder er kittete zweckmäßig gewählte Linsenteile an eine Trägerlinse an. Er hat sogar auch schon an die Möglichkeit gedacht, die Verschiedenheit des Brechungsexponenten verschiedener Kittarten zur bequemen Variation der Brechungswirkung seiner Bi- und Trifokallinsen zu verwenden.

§ 85. Den Schluß in dieser ersten Zeit der Erfindung machte die Veröffentlichung des jungen Astronomen G. B. Airy (*1.*) vom Jahre 1825 über den starken Astigmatismus seines außerdem noch kurzsichtigen linken Auges. Er bedurfte zur Korrektion einer sphärischen Wirkung von — 6,25 dptr und außerdem einer zylindrischen von — 4,65 dptr. Seine Sehschärfe scheint aber noch befriedigend gewesen zu sein. Sein erster Gedanke war gewesen, den Fehler durch zwei gekreuzte Zylinderlinsen zu heben, doch ging er der Schwierigkeit der Ausführung wegen zu jener sphäro-zylindrischen Linse über, die ihm von dem Optiker .. Fuller in Ipswich ausgeführt wurde. Von der Vorarbeit, die Th. Young zum Astigmatismus geleistet hatte, war G. B. Airy nichts bekannt, dagegen hatte er von einem ausländischen Optiker gehört, der gekreuzte Zylinderlinsen herstellte. Man wird in der Annahme nicht fehl gehen, daß es sich hier um die beiden Partner P. Galland und M. Chamblant gehandelt habe.

Wenn G. B. Airy in seinen Schlußworten seiner Verwunderung Ausdruck gegeben hat, wozu wohl diese gekreuzten Zylinderlinsen gebraucht würden, so hat er möglicherweise die Kenntnisse der beiden französischen Fabrikanten unterschätzt. Nach den Angaben von E. Sulzer (*1.*), worin die gegenteilige Ansicht E. Javals (*1.*) ausdrücklich bestritten wird, hat M. Chamblant doch schon ziemlich frühzeitig den Astigmatismus des Auges durch seine Gläser empirisch korrigiert. Auch die Angabe von .. Goode gehört hierher, die durch F. C. Donders (*1. 454.*) vermittelt worden ist, wonach er vor 1848 ein Planzylinderglas von M. Chamblant erhalten habe. Aber schwerlich ist diesem eine theoretische Kenntnis inne gewesen, die der Airyschen zu vergleichen wäre.

[1] Die Auffindung dieser Arbeit ist das Verdienst von Herrn Fritz von Briesen.

§ 86. Einen umfassenden wenn auch nicht tiefgehenden Überblick über das englische Brillenwesen um den Anfang der zwanziger Jahre gab der praktische Arzt W. Kitchiner (*1.*), der sich in den technischen Einzelheiten an die Angaben der Optiker G. Adams und S. Pierce hielt. Ihm war die Anisometropie bekannt sowie die Steigerung der Sehleistung, die sich beim Gebrauche beider Augen ergibt. Unter der Bezeichnung Preservers verstand man damals die schwachen Gläser von 1 bis $1\frac{1}{4}$ dptr, die emmetrope Augen um die Mitte der Vierziger für feinere Naharbeiten verlangten, doch hielt er diese Bezeichnung für irreführend. Seine Angaben über die mit dem Alter erfolgende Zunahme der Brillenstärke, die er nach den langjährigen Erfahrungen eines ihm befreundeten Optikers machte, lassen sich kurz wiedergeben, wenn man sagt, die Brechkraft der Arbeitsbrillen ist für Personen von 55 Jahren und darüber immer um 2 dptr größer als die Dioptrienzahl ihres Fernpunkts nach der Dondersischen Tafel. Bifokalgläser für Presbyope waren ihm bekannt, doch führte er sie nicht auf B. Franklin zurück. Vorhängebrillen werden nur als ad hoc konstruierte Aushilfsmittel einzelner Brillenträger erwähnt. Farbige Gläser lehnte er im allgemeinen ab, und von Zylindergläsern ist in seinem Buche nichts zu finden. Von Interesse sind die Angaben über die von J. Ramsden und anderen Optikern von Bedeutung angenommene Bezifferung, die für Sammellinsen (*33.*) ganz ausführlich sind.

Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
D_1 in dptr :	1,1	1,3	1,6	2,0	2,2	2,5	2,8	3,3	3,9	4,4	4,9	5,6	6,6.

Von Negativgläsern findet sich nur

Nr. :	1	2	3
D_1 in dptr :	— 1,6	— 1,9	— 2,2.

Doch scheint aus einer Bemerkung (*98.*) hervorzugehen, daß die absoluten Brechkräfte der Negativlinsen denen der um zwei Nummern höheren Positivlinsen gleichkämen. Wenn nun auch diese Bezifferung willkürlich war, so geschah die Abstufung nach der in Zollen ausgedrückten Länge des Radius gleichseitiger Linsen, und das hatte zur Folge, daß die Abstufung im Anfang sehr allmählich, später recht sprunghaft vor sich ging. In der Praxis wurden dann noch halbe Nummern eingeschoben. Als Minimalwerte der Ellipsenachsen für den Rand des Brillenglases gab er (*109.*) 28 : 23 mm an, Grenzen, die man heute (s. S. 6) als recht niedrig ansehen würde, während die Form als sehr hoch $a:b = 1{,}22$ auffallen dürfte. Diese Angabe paßt übrigens gut zu den Klagen J. Beers. Fernrohrbrillen empfahl er im allgemeinen für Myopen (*102.*), und er gab später (*185.*) auch vier Fälle an, wo die Brillenträger von selbst auf dieses Aushilfsmittel gekommen wären. Bei einem wird die Kurzsichtigkeit ausdrücklich betont.

Eigenartig berührt das fast gänzliche Fehlen von Brillenpatenten in dem ersten Dritteil des 19. Jahrhunderts; ein Grund dafür hat sich nicht auffinden lassen.

§ 87. Versucht man zu einem zusammenfassenden Urteil über die hier geschilderte Entwicklung zu kommen, so sind nicht gerade durch die Tätigkeit der Brillenoptiker, wohl aber durch die Erfindungsgabe von Wissenschaftern, namentlich von Ärzten, die Grundlagen fast zu allen Erleichterungen gelegt worden, die die Brille dem ametropischen und dem krankhaft astigmatischen Auge zu leisten vermag. Allerdings ging man dabei wenigstens bewußterweise nur so weit, daß man das ruhende Auge und achsennahe Strahlen berücksichtigte. Aber es bleibt ein dauernder Ruhm jener fruchtbaren Periode, daß Bi- und Multifokalgläser sogar auf Grund verschiedener Methoden (nämlich durch Anschliff, mechanische Zusammensetzung, Aussparung, Ankittung, Verwendung von Medien verschiedener Brechung) durchgeführt oder doch wenigstens vorgeschlagen, daß periskopische Linsen empfohlen, daß die Ursachen des Astigmatismus entdeckt, und daß zwei verschiedene Methoden seiner Korrektion (durch sphäro-zylindrische Linsen und durch gekreuzte Zylindergläser) nicht nur theoretisch erkannt, sondern auch praktisch ausgeführt worden waren. In der Verwendung von schwach gefärbtem Glas und in der Feststellung der gerade ausreichenden Gläsergrößen waren wenigstens Anfänge gemacht worden. Die Aufgabe der Folgezeit mußte es sein, das überkommene Erbteil zu erweitern und zu vertiefen.

Schmerzlich berührt es in dieser Zeit, daß der deutsche Techniker ebensowenig von sich reden machte wie der deutsche Gelehrte. Die Führung auf wissenschaftlichem Gebiet gehörte ausschließlich den Engländern, während für die Verfeinerung der Herstellung neben dem englischen doch auch schon das französische Handwerk genannt werden muß.

2. Der empirische Ausbau der Grundideen von den dreißiger Jahren bis zum Ende des 19. Jahrhunderts.

§ 88. Es war schon darauf hingewiesen worden, daß in den ersten dreißig Jahren des neuen Jahrhunderts Patente auf Brillen selten nachgesucht wurden, und auch die unmittelbar folgende Zeit ist noch verhältnismäßig arm an solchen genau beschriebenen Einzelkonstruktionen.

Etwas seitab liegt die Erfindung einer Seiten- und Rückblickbrille, die sich A. Allard de la Court (*1.*) 1826 schützen ließ, doch scheint aus dem Titel seiner Anmeldung hervorzugehen, daß einfachere Einrichtungen für den gleichen Zweck schon seit langem bekannt gewesen seien. Dieselben Ideen tauchen 60 Jahre später wieder auf, sollen dann aber nicht wieder erwähnt werden.

Nur der Merkwürdigkeit halber seien hier G. und E. Solomons (*1.*) genannt, die 1832 vorschlugen, Bernstein als Brillenmaterial zu verwenden.

§ 89. Von einer viel größeren Wichtigkeit ist dagegen das Patent G. R. Elkingtons (*1.*), der 1834 an der ursprünglichen Form der Franklinschen Bifokalbrille die beiden Teile unter 45° gegeneinander neigte. Er beabsichtigte damit, dem Auge beim Lesen einen mehr senkrechten Durchblick durch den stärkeren Leseteil zu gewährleisten. Der obere Teil sollte bei aufrechter Kopfhaltung etwa vertikal stehen und konnte beim normalen alterssichtigen Auge auch ganz wegfallen, so daß dann nur der untere, mit der Vertikalen einen Winkel von 45° bildende Teil übrig blieb. Seine Winkelgläser bezeichnete er mit einem nicht unzweckmäßig gewählten Namen als pantascopic spectacles. Es ist gar kein Zweifel, daß G. R. Elkington mit diesem Vorschlage auf die Bewegung des Auges in seiner Höhle Rücksicht nahm, wenngleich sie ihm wohl kaum ganz klar war. Er spricht wenigstens von diesen eigentümlichen Verhältnissen nicht, zeigt aber im Ganzen ein viel größeres Verständnis für die Bifokalbrille als seine Zeitgenossen. Eine Einführung in den allgemeinen Gebrauch gelang ihm nicht, dagegen sollte seine Idee auch ohne weitere Veränderung später noch mehrfach auftreten, was hier nicht weiter behandelt werden wird.

§ 90. Wiederum mehr ein Kuriosum ist die Verwendung von »Perspektivbrillen« durch den Wiener Optiker G. Schönstädt (*1.*) im Jahre 1835. Er schliff — offenbar, um an Gewicht zu sparen und doch an der Form des Brillenglases festzuhalten — eine dicke Glaslinse auf beiden Seiten konvex und polierte die vordere der beiden Flächen. In der hinteren brachte er eine stark zerstreuende Fläche von kleinerem Durchmesser an, so daß das ganze System eine negative Brennweite erhielt und somit von Kurzsichtigen getragen werden konnte. Man kann hierin eine Vereinfachung der Dixonschen Idee (s. S. 117) erkennen, wobei allerdings mit der Veränderlichkeit des Abstandes auch die Abstufungsmöglichkeit der Brechkraft aufgegeben worden war. Die nahe Verwandtschaft mit dem Steinheilschen Konus ist ebenfalls deutlich. Ferner wird die wohl begründete Annahme bestätigt, die neuen holländischen Fernrohre stammten wirklich aus Wien, da dort anscheinend die Voigtländersche Wiederaufnahme der Idee des holländischen Doppelfernrohrs großes Aufsehen erregt hatte und auch von den Optikern studiert wurde.

§ 91. Aus Amerika wurden um diese Zeit zwei Brillenpatente bekannt, und zwar handelt es sich bei dem I. Schnaitmann (*1.*) 1836 erteilten Schutze um Bifokalbrillen aus einem Stück, bei denen die Zusatzwirkung des Naheteiles durch Schleifen herbeigeführt wurde, ohne daß sich in der Beschreibung eine Angabe der dazu verwendeten Mittel findet. Wahrscheinlich ließ

eine indirekte Beeinflussung durch M. Chamblants Vorgang den Erfinder auch die Möglichkeit zylindrischer Flächen vorsehen, indessen scheint er zu ihnen weniger Zutrauen zu haben als zu den sphärischen. Sein Landsmann Ch. H. L. Jachau (*1.*) erhielt 1839 ein Patent auf eine Brillenart, die durch einen breiten mattierten Rand ausgezeichnet war. Da sich dieser hauptsächlich nach oben erstreckte, so wird es sich um Brillen zum Strahlungsschutz gehandelt haben, die einer alten englischen Form (visual spectacles) nahe standen.

§ 92. Aus dem Beginn dieser Periode sind zwei wichtige Brillenhandbücher vorhanden, deren früheres von dem Londoner Optiker J. T. Hudson (*1.*) stammt und im Jahre 1840 erschienen ist. Der Verfasser muß nach seinen Angaben eine ziemlich ausgedehnte Kundschaft unter den großbritannischen Ladenoptikern gehabt haben.

Er gibt in seiner kleinen Schrift eine Definition der Konservationsbrillen (preservers), die anscheinend späteren Ursprunges ist, und nach der diese Einrichtungen ganz haltbar erscheinen. Es handelt sich danach um ganz schwache Brillengläser beliebigen Zeichens für Personen, die ständig mit Gegenständen mittlerer Entfernung (0,6 bis 0,9 m) zu tun haben.

Bei der Anpassung der Brille legte er Wert darauf, den Gläsermitten einen Abstand zu geben, der mit dem der Pupillenmitten übereinstimmte. Der sogar für England geringe Wert von 57 mm, den er dafür angab, läßt die Annahme glaubhaft erscheinen, daß er häufig den Pupillenabstand beim Fixieren naher Gegenstände angenommen habe.

Die Größe der Brillengläser gab er ebenfalls sehr gering an; der Betrag von 25 bis 32 mm schien ihm vollständig auszureichen, eine Annahme, aus der man wohl schließen kann, daß sich die alten Ansichten über diesen Punkt, die schon G. J. Beer aufgefallen waren, in England lange am Leben erhalten haben.

Die Verbesserung des Glasmaterials zu seiner Zeit hob er ausdrücklich hervor, und zwar gab er als hauptsächlichste Bezugsländer England und Deutschland an.

Als praktische Abstufung für die Brechkraft schlug er die Zollzahlen der Radien vor, da sie gleichzeitig die Brennweite der Brillen ergeben. Also selbst um 1840 scheinen hiernach die Optiker noch nicht allgemein diese Abstufung angenommen zu haben, die über 120 Jahre zuvor Chr. G. Hertel als ganz selbstverständlich erschienen war.

Ein großer Glücksfall ist es, daß aus der gleichen Zeit eine geradezu mustergültige Schrift über den Stand der Brillenkunde erhalten ist in dem 1841 veröffentlichten Handbuche Charles Chevaliers (*1.*).

§ 93. Als ordinierender Optiker ist er (*60.*) der Ansicht, daß man die Kurzsichtigkeit sofort korrigieren lassen solle, sobald man sie bemerke, da

man dadurch die Progression der Myopie aufhalten könne. Die Konservationsbrillen verwirft er vollständig und schildert ebenfalls die vor einigen Jahren bemerkte törichte Mode, Brillen zu tragen, die für den Zustand des Auges gar nicht nötig wären.

Die periskopischen Brillen werden hauptsächlich nach R. A. Cauchoix besprochen, der sich nach dem Urteil von J. B. Biot (*1.*) besonders erfolgreich mit dieser Form beschäftigt und ihren Vorteil für alle Arbeiten erkannt hätte, bei denen es sich nicht allein um die Betrachtung eines ganz kleinen Feldes handele.

Den Galland schen Zylindergläsern, die um die Zeit der Abfassung aus der Mode gekommen zu sein scheinen, wird — nach dem Vorhergegangenen ungerechtfertigterweise — ziemlich jeder Wert abgesprochen, und ferner findet sich ein Hinweis auf den Mißerfolg, der .. Watkins und .. Smith mit ihren sogenannten achromatischen Gläsern erreicht hatte. Da es sich hier um doppelte Brillengläser handelt, so liegt wahrscheinlich eine Bezugnahme auf A. Smith vor, der bereits auf S. 115 vorgekommen ist. Nach Ch. Chevalier (*80.*) waren die Doppelgläser je aus einer bikonvexen und einer konkav-konvexen Linse zusammengesetzt, und zwar zum Zwecke der Achromatisierung, die indessen nicht erreicht worden sei.

Von großem Interesse ist schließlich noch die Mitteilung (*83.*) über die Farbgläser von N. J. Lerebours. Dieser auch sonst bekannte Pariser Optiker hatte die infolge der sehr verschiedenen Dicke recht ungleichmäßige Färbung aus Farbglas hergestellter starker Linsen vermeiden wollen und kittete[1]) (souda, colla) daher ein jedenfalls gleichmäßig starkes Farbglas an das farblose Brillenglas. Wenn er aber solche Blaugläser gleichzeitig als achromatisch anpries, so erfuhr er mit Recht eine scharfe Kritik Ch. Chevaliers.

Ch. Chevalier war darum für die Abfassung des soeben besprochenen Handbuches so sehr geeignet, weil er ein besonders tüchtiger Optiker war, der auf den verschiedenartigsten Gebieten, der Verbesserung des Mikroskops, des Fernrohrs und des photographischen Objektivs, seine unbestreitbaren Verdienste hat. Hinzu kommt, daß er auch über eine ganz ausgedehnte Sprachkenntnis verfügte, und also in den verschiedensten Richtungen seinen Kollegen überlegen war.

§ 94. Zwei empirisch gefundene Erweiterungen der dem Brillenoptiker zu Gebote stehenden Hilfsmittel sind aus dieser Zeit anzuführen, da — nach E. Javal (*1.*) zwischen 1840 und 1844 — der römische Optiker

1) Nach einer Bemerkung von Ed. Pergens (*3.*) hat es sich hier auch um ein Schmelzverfahren gehandelt. Dieselbe Erfindung sei dann 1879 von C. Ponti aufgenommen und unter Schutz gestellt worden. C. Ponti war ein Venediger Optiker, von dem bereits aus dem Anfange der sechziger Jahre Betrachtungsapparate (Alethoskope) bekannt geworden sind.

.. Suscipi zur Korrektion eines astigmatischen Auges eine Linse schliff, die eine torische Fläche enthielt, und da ferner — nach E. Pergens (*1.*) 1844 — Ch. Chevalier einem Patienten eine prismatische Brille anpaßte. F. C. Donders (*1. 144.*) sah noch 1866 den holländischen Meteorologen W. Krecke als den Erfinder dieses Hilfsmittels an. Ihm selbst sei es 1847 bekannt geworden, und er habe es dann in seiner ausgedehnten Praxis regelmäßig verwandt.

§ 95. Die ältere Idee von D. Adams (s. S. 117), durch Diaphragmenbrillen die Richtung der Augenachsen beeinflussen zu lassen, tauchte ein wenig verändert in zwei etwas undeutlichen Patenten von A. A. Plagniol (*1. 2.*) auf, die zwar zu verschiedenen Zeiten, 1845 und 1855, genommen worden sind, aber ohne Zwang zusammen besprochen werden können. Er versah die kleinen kreisrunden Diaphragmen mit Linsen für Myopen und Presbyopen, ließ aber die — durch andere mechanische Mittel ermöglichte — Verschiebung bestehen.

In der früheren Beschreibung spricht er von einer einfachen und achromatischen Linse. Es sieht danach, namentlich wenn man die wenig spätere Beschreibung der schon einige Zeit auf diesem Gebiete arbeitenden (*1.*) Nantesischen Optiker Th. Pr. Moussier (*2. 3.*) und .. Boulland hinzunimmt, beinahe so aus, als habe man im Kreise französischer Optiker fälschlicherweise die periskopischen Gläser als farbenfrei angesehen, ein Irrtum, der in gewisser Weise nach Ch. Chevaliers Angaben auch in England begangen worden zu sein scheint. Das dafür vorliegende Material reicht aber zu einem ganz sicheren Beweise nicht aus.

§ 96. Das Elkingtonsche Brillenglas hat nach der Aussage des Pariser Optikers .. Bernard (*1.*), vor 1850 Erfinder insofern gereizt, als man versuchte, die beiden geneigten Teile aus einem einzigen Glasstück herauszuarbeiten, ein Versuch, der ein großes Vertrauen in die Fertigkeit der Glasbearbeitung erkennen läßt. In der Tat ließ sich ein solches Patent auffinden, das an die Amerikaner D. Hotchkiss (*1.*) und B. R. Norton im Jahre 1849 erteilt worden war. Sie ließen sich darin Bifokalbrillen gewöhnlicher Art schützen, wobei der Naheteil seine Zusatzwirkung durch ein Schleifverfahren erhielt. Sie sahen aber auch die Möglichkeit vor, den unteren Teil der Bifokalbrille unter Anwendung von Hitze gegen den oberen zu biegen, ein Vorschlag, der offenbar .. Bernard aufgefallen war. Schließlich haben sie auch schon den Gedanken gehabt, solche Formveränderungen in hohen Temperaturen vorzunehmen, daß die Grenzkante, an der die beiden Schleifflächen der Bifokallinse aneinanderstoßen, keinerlei Niveaudifferenzen zeigte und somit jede Sprungschicht vermieden wurde. Man kann wohl aus dem Stillschweigen der Folgezeit entnehmen, daß diese Erfinder die Technik noch nicht genügend beherrschten, um ihre Ideen auszuführen. Trotz alledem muß man

der Kühnheit des Gedankens alle Anerkennung zollen, und es ist sicherlich durch die Zähigkeit anderer amerikanischer Erfinder dahin gekommen, daß die Formgebung unter hohen Temperaturen für Brillengläser in der Gegenwart eine große Rolle spielt. Man kann sehr wohl diese Methode der Gestaltung in der Brillentechnik als die spezifisch amerikanische bezeichnen.

.. Bernard selbst hat einen anscheinend erfolglosen Versuch gemacht, durch Einführung eines Scharniers zwischen Fern- und Naheteil die Elkingtonsche Brille zu vervollkommnen.

§ 97. Die schon erwähnten Optiker Th. Pr. Moussier (*2.*) und .. Boulland aus Nantes nahmen 1852 die Idee B. Franklins etwa da auf, wo sie .. Biette (s. S. 119) hatte liegen lassen, und erreichten die gleiche Anordnung der Brechungswirkungen dadurch, daß sie im Falle einer Hypermetropenbrille einen kleinen dünnen Sammelmeniskus elliptischer Form mit Terebinthenharz auf das Fernglas, auch einen Meniskus, kitteten. Ob sie diese beiden Gläser aus der gleichen Glasart herstellten oder für den Naheteil einen etwas höheren Brechungsexponenten bevorzugten — was man aus ihren Daten schließen könnte — ist nicht sicher, keinesfalls wurde es in der Patentschrift erwähnt.

Einige Jahre darauf, 1855, ließen sich dieselben beiden Optiker (*3.*) die Möglichkeit schützen, die Bifokalwirkung durch Ausschleifen zu erzielen. Sie gingen dabei von einer Presbyopenbrille aus und erhielten dann in den oberen Brillenhälften zwei kleine Fernteile. Allerdings erfolgte der Übergang vom Nahe- zum Fernteile mit einem Sprunge des Bildes, aber sie erhielten den Vorteil großer Leichtigkeit, Eleganz und Unauffälligkeit. Indessen scheint es nicht, als sei die Einführung dieser Neuerung gelungen.

Dieselbe Patentschrift enthielt auch noch eine Änderung an den verkitteten Bifokalgläsern: sie näherten nämlich die Zentren ihrer angekitteten Nahegläser offenbar zu dem Zwecke, die Formänderung der Raumbilder zu vermindern, die eine Folge der exzentrischen Benutzung ist; eine solche tritt bei der Betrachtung näherer Objekte ein, wenn die Entfernung der Brillenzentren mit dem Abstande der Augendrehpunkte übereinstimmt. Wie man sieht, kamen sie für ihre Hilfslinsen etwa zu einer Anpassung, wie sie J. T. Hudson (s. S. 125) im allgemeinen Falle bereits empfohlen hatte.

Übrigens bemerkte F. C. Donders (*1.* *117.*) 1866, daß er regelmäßig aus Paris recht gute geschliffene Bifokalgläser bezöge, und aus der Zeichnung läßt sich erkennen, daß durch den Anschliff die Vorderfläche eines Meniskus modifiziert worden war. Die Herkunft dieser Gläser ließ sich nicht ermitteln, und ebensowenig natürlich ein Zusammenhang mit einem der hier erwähnten Autoren.

§ 98. Um dieselbe Zeit, 1854, schlug .. van Minden (*1.*) eine Zusatzbrille vor, und zwar hatte er auch die Möglichkeit vorgesehen, gegebenen-

falls an Stelle der Zusatzbrillengläser von bestimmter Brechungswirkung auch bloße Farbgläser zu verwenden. Er klappte die Nahgläser zum Lesen vor, mußte sie mithin beim Sehen in die Ferne aus dem Wege schlagen und dann also ziemlich auffällig tragen.

Die mechanische Einrichtung für die Anbringung war von .. VAN MINDEN sehr zweckmäßig so getroffen worden, daß die Lösung einer Haltevorrichtung eine Feder wirken ließ, die dann die Gläser in die Höhe zog. In der Anbringung der Zusatzgläser liegt fast der einzige Unterschied, den spätere Erfindungen gegen die vorliegende erkennen lassen. Die Zusatzgläser außer Gebrauch liegen manchmal den Schläfen an, manchmal fallen sie nach unten oder werden zur Seite geschlagen, oder die Scharniere befinden sich nicht an den oberen Glasrändern sondern an den unteren oder auf dem Steg, und was dergleichen nicht optische Änderungen des ursprünglichen Planes mehr sind.

Wenn schon der nächste Erfinder von Zusatzbrillen, der Bristoler Optiker J. BRAHAM (*1.*) aus dem Jahre 1861 erwähnt wird, so geschieht das nicht wegen seines Hauptthemas, sondern weil seine Patentbeschreibung die wichtige Form der horizontalen Sprungfeder enthält, die, in England sehr verbreitet, namentlich bei Klemmern für astigmatische Gläser schwer entbehrt werden kann.

§ 99. Schon im Jahre darauf, 1862, nahm .. DUVALDESTIN (*1.*) ein unveröffentlicht gebliebenes Patent auf eine besonders für das beidäugige Sehen bestimmte Brille. Er ging dabei verständigerweise auf die Verhältnisse ein, wie sie bei beidäugiger Betrachtung naher Objekte durch eine große plankonvexe Linse auftreten. Die bei einem solchen Strahlengang benutzten Teile verwandte er, herausgeschnitten und durch nachträgliche Bearbeitung der ursprünglichen Planfläche den gerade vorliegenden Brechungsverhältnissen der Augen angepaßt, als Brillengläser. Es ist nicht anzunehmen, daß diese Arbeit ein besonderes Aufsehen erregt habe, wie ja auch die Vorschriften im Einzelnen nicht einwandfrei sind, aber sie zeigt deutlich, daß man auch in den Kreisen der Optiker die Wichtigkeit dieses Problems erkannt hatte und sich um eine Lösung bemühte. Daß sich auch Wissenschafter mit dieser Aufgabe beschäftigten, kann keine Verwunderung erregen, handelt es sich doch um einen Zeitraum, wo das lebhafteste Interesse an der Stereoskopie nur eben erst abzuebben begann. Und in der Tat finden sich gerade um diese Zeit drei Theoretiker, und unter ihnen die anerkannten Meister der Ophthalmologie bei der Arbeit an diesem Problem.

§ 100. Schon früh in den sechziger Jahren erschien das große ophthalmologische Werk von F. C. DONDERS (*1.*) zuerst in holländischer Sprache, 1864 in englischer, 1866 in deutscher Übersetzung. Daß darin außerordentlich viel von den Brillenformen gehandelt wurde, ist selbstverständlich,

und es ist bereits an mehreren Stellen von Mitteilungen daraus Gebrauch gemacht worden, die ein sehr erwünschtes Licht auf die Geschichte der Brille geworfen haben. Ganz außerordentlich charakteristisch ist sein Standpunkt (*130—144.*) in der Auffassung der Raumwiedergabe durch die Brille. Allerdings noch ohne strenge Ableitung machte er auf die Porrhallaxie aufmerksam, die der Gebrauch der Brille für das einäugige Sehen nach sich ziehe, und leitete daraus für das beidäugige Sehen die Abflachung und die Vertiefung des Reliefs ab, die sich je bei Hypermetropen und bei Myopen zeigen müsse. Es ist ja richtig, daß die Herleitung weniger auf Grund von strengen Formulierungen als von allgemeinen Anschauungen ausging, aber es war doch schon der Grund gelegt, auf dem eine vollständige Theorie der Brille hätte errichtet werden können. Merkwürdig ist es nur, daß ein so klarer Kopf wie F. C. Donders noch nicht die Wichtigkeit des Drehungszentrums für die Konstruktion der Brille erkannte, obwohl er sie für die Gesichtswahrnehmung im freien Sehen betonte.

Das Jahr 1865 brachte wiederum einen Ansatz zur theoretischen Behandlung der Brille als eines binokularen Instruments, und zwar aus der Feder des Edinburgher Ingenieurs R. H. Bow (*1.*). Bei der Behandlung des Stereoskops wurde auch der Brille als eines solchen Instruments gedacht und besonders auf die Wichtigkeit hingewiesen, den Höhenfehler zu vermeiden. Als eine Grenze für einen noch ohne besondere Mühe auszugleichenden Höhenfehler gab er 1/70 oder etwa 49′ an.

Kurze Zeit darauf, 1866, beschäftigte sich auch H. Helmholtz (*1. 672—673.*) mit dem Problem der Brille, und zwar hat er von den soeben erwähnten Dondersischen Anschauungen Kenntnis gehabt, ja sogar auf sie verwiesen. Er hat aber nicht direkt an sie angeschlossen sondern sich mit dem Einfluß beschäftigt, den eine Verschiebung der Brillengläser in ihrer Ebene auf die Raumwiedergabe ausübt. Er setzte dabei stets das Auge dicht am Brillenglase anliegend voraus, so daß keine Änderung des Tangentenverhältnisses eintreten kann, und hat also auch nicht das Auftreten der Verzeichnung berücksichtigt, wodurch das Problem eben seine eigentümliche Schwierigkeit erhält.

Ungefähr gleichzeitig, 1863, erschien ein Brillenbuch von A. Chevalier (*1.*), dem Sohne des vorher erwähnten Optikers gleichen Namens. Wenngleich er seinen Vater an allgemeiner Bedeutung nicht erreicht, so läßt sich doch seiner Schrift manches entnehmen, was ein Licht auf den damaligen Stand des Brillenwesens in Paris wirft. Besonders charakteristisch ist der enge Zusammenhang, den er mit den Augenärzten aufrecht zu erhalten bemüht war; er wünschte geradezu die Brillenverordnung durch Ärzte, doch ließ er verständlicherweise auch eine solche durch einen tüchtigen Optiker zu. Hinsichtlich der Brillenform empfiehlt er besonders Menisken, die in Glas ausgeführt 0,80 Mk., in Quarz 2,40 bis 4 Mk. das

Paar teurer sind als die entsprechenden gleichseitigen Formen. An Glasbrillen wurden je nach der Beschaffenheit des Materials zwei verschiedene Sorten geführt. Von Quarzlinsen rät er ab, da sie dem Auge schädlich seien, und stellt ihren Preis recht hoch: für gleichseitige Gläser, je nach der Brechkraft 12, 16, 24 Mk. auf das Paar. Die Abstufung erfolgt nach Zollen bis zu mittelstarken Gläsern, für Stargläser (7,4 bis 24,6 dptr) nach Linien. Zur exakten Anpassung der Brillengestelle bedient er sich bereits verschiedener Hilfsvorrichtungen, sei es um den Pupillenabstand oder die Höhenlage der Augenachsen oder die Kopfdicke in der Schläfengegend zu bestimmen. Daß er auch noch eine Lochbrille für Schielende anführt, sei nur eben erwähnt.

§ 101. Die nur aus dem Titel der Patentschrift bekannten periskohyperbolischen Gläser von .. Plagniol und .. Maire (*3.*) aus dem Jahre 1866 sind wohl über das Stadium des Versuchs nicht hinausgekommen, während der Idee der englischen Optiker W. Pugh (*1.*) und J. Field, auf die sie im Jahre 1868 einen Patentschutz erwirkten, ein längeres Leben beschieden war. Nach der ungewöhnlich knapp gehaltenen Patentschrift wünschten sie die schweren Brillengläser von großer Brechkraft (etwa solche für Aphakische) dadurch zu erleichtern, daß sie sie aus zwei Teilen zusammensetzten: aus einer leichten Trägerschicht ohne Brechkraft und einem eingekitteten Hauptglase, das nunmehr von kleinerem Durchmesser, also leichter, gemacht werden konnte. Waren gefärbte Gläser vorgeschrieben, so wurde die Färbung in der gleichmäßig dicken Trägerschicht angebracht. Es handelte sich also in dieser Hinsicht um einen Gedanken, der dem von N. J. Lerebours (s. S. 126) nahe stand.

§ 102. In einer gewissen Verwandtschaft mit diesen Ideen stehen die beiden Patente des Optikers E. Fl. Courvoisier (*1.*) um das Jahr 1869. Es handelt sich hier um mehrere Erfindungen, die in späterer Zeit häufig benutzt, aber immer andern Urhebern zugeschrieben werden. Um Farbgläsern ein gleichmäßiges Aussehen zu verschaffen, ohne doch das etwas umständliche Verfahren von N. J. Lerebours (s. S. 126) zu verwenden, schlug er vor, Linsen durch einen gefärbten Kitt miteinander zu verbinden. Die Zerlegung des Brillenglases in zwei Teile nutzte er dazu aus, die Achromasie herbeizuführen, und zwar beschränkte er sich auf verhältnismäßig kleine, kreisrunde Augengläser. Nach seiner früheren Beschreibung setzte er sie mitten in einen gewölbten dünnen Metallträger, kam aber schon drei Monate danach auf den schönen Gedanken, die Negativlinse einer solchen Kombination, also das Flintglas bei Sammel-, das Kronglas bei Zerstreuungslinsen, als richtigen Träger auszubilden. Er schliff nämlich in eine genügend große, später oval zu zentrierende Planplatte Flächen von vorgeschriebener Krümmung, aber kleinem Durchmesser ein. Er erzielte damit die gleiche optische

Wirkung wie in dem ersten Falle, gab aber dem neuen Glase ein weniger auffallendes Ansehen.

Die Idee der achromatischen Brillengläser wurde von seinem Landsmann, dem auch sonst wohlbekannten Pariser Optiker E. Derogy (*1. 2. 3.*), in mehreren Patenten um 1870, 71, 77 aufgenommen und weiter gebildet, doch ist es nicht bekannt geworden, daß er einen größeren Erfolg gehabt habe als E. Courvoisier. Die veröffentlichten Patente beziehen sich nur auf Fassungsmethoden für seine achromatischen Gläser.

§ 103. Um die Mitte und das Ende der sechziger Jahre wurden die Übelstände zu groß, die sich aus der alten Abstufung der Brillennummern nach der in Zollen angegebenen Brennweite (approximativ auch der Länge des Radius der Schleifschale gleichseitiger Bikonvex- oder Bikonkavlinsen) ergaben. Denn die Zollänge war in den verschiedenen Ländern nicht dieselbe, und es ließen sich Mißverständnisse kaum vermeiden, da mindestens drei verschiedene Zolle in Betracht kamen, die in den Ländern des metrischen Maßsystems entweder schon längst verschwunden waren oder doch um diese Zeit außer Gebrauch kamen. Es handelte sich dabei vornehmlich um den englischen Zoll mit 25,40 mm, den Pariser mit 27,07 mm oder 106,6 % des englischen und den rheinländischen oder preußischen mit 26,15 mm oder 103,0 % des englischen. Die erste Andeutung dafür, das metrische Maßsystem auch in die Brillenlehre einzuführen, findet sich 1866 bei A. Nagel (*1. 30.*), und 1867 wurde dem in Paris tagenden Ophthalmologischen Kongreß ein dahin gehender Antrag von A. Nagel (*2.*) und E. Javal vorgelegt. Die Annahme durch die Augenärzte geschah nach der im Jahre 1875 erfolgten Zustimmung von F. C. Donders (*2.*) im Laufe der siebziger Jahre, nur wurde nach dem zweckmäßigen Vorschlage von F. Monoyer (*1.*) die Einheit der Brechkraft seit 1872 mit einem besonderen Namen als Dioptrie bezeichnet und nicht mit Hilfe des Ausdrucks Meterlinse umschrieben, wie es A. Nagel (*3.*) gewünscht hatte.

§ 104. Ungefähr um diese Zeit vollzieht sich eine wichtige Änderung für das Brillenwesen insoweit, als allmählich die amerikanische Brillenindustrie zum Großbetriebe übergeht und zunächst den eigenen Markt mehr und mehr beherrscht, dann aber auch mit der Eroberung des europäischen beginnt. Die Anzahl der amerikanischen Brillenpatente wächst auffallend; allerdings sind sie zu einem nicht unbeträchtlichen Teil ganz oder doch teilweise von älteren französischen oder englischen abhängig. Da das in den seltensten Fällen den amerikanischen Erfindern bekannt gewesen sein wird, so gibt eine solche Feststellung keinen Grund zum Tadel, eher zum Bedauern. In der Herstellung ist der Einfluß der in Amerika entstehenden Großbetriebe sehr deutlich merkbar. Freilich geschehen die Verbesserungen in der Regel nur unter dem Gesichtspunkt des Fabrikanten, nicht unter

dem des Benutzers, aber einmal nahm auch der Mittel- und Kleinbetrieb gegen Ende des 19. Jahrhunderts nur in den seltensten Fällen besondere Rücksicht auf die Erfordernisse des Brillenträgers, und ferner fallen die beiden Standpunkte des Benutzers und des Herstellers doch nicht in jeder Hinsicht weit auseinander. Die Auswechselbarkeit der Teile, die Leichtigkeit der Gläser, die Haltbarkeit der Gestelle, worauf die Bestrebungen der Fabrikanten doch auch in erster Linie gerichtet waren, kamen ebenfalls dem Benutzer zugute. Die ausgezeichnete Beschaffenheit der Gläser hatte in Amerika jedenfalls eine Steigerung der Nachfrage zur Folge, und es bildete sich dort früher als in Europa ein Stamm von Ladenoptikern heraus, die jedenfalls die individuelle Anpassung des Brillengestelle auf eine Höhe hoben, die auf dem Kontinent in solcher Allgemeinheit nicht zu finden war.

Die ersten ursprünglichen Bemühungen dieser Zeit finden sich auf dem Gebiete des Strahlungsschutzes gegen das hauptsächlich von oben kommende Licht. Hier brachte Fr. Yeiser (*1.*) 1875 Schattenschilde über der Brille an. Wenn er den Gläsern unter Umständen die obere oder untere Hälfte wegschnitt, so ist das Verfahren höchstens für den unteren Teil, also für Myopen, neu. Für emmetropisch gewesene Presbyopen findet sich der entsprechende Vorschlag schon bei G. R. Elkington (s. S. 124).

Auf demselben Gebiete bewegt sich die Erfindung von Ch. Alt (*1.*), der 1876 ebenfalls ein Brillenglas herstellen wollte, das nur gegen die von oben einfallende Strahlung schützen sollte. Wenn er zu diesem Zwecke auf den oberen Teil des Brillenglases Email aufschmolz, so leitete er dafür eine Erweiterung der Mittel ein, die man, wie bereits oben bemerkt, sehr wohl als die eigentlich amerikanische ansehen kann. Es handelt sich dabei um das Problem, zwei Teile des Brillenglases durch hohe Temperatur in eine feste Verbindung zu bringen.

Es ließ sich nicht entscheiden, ob der Nürnberger J. Fr. Alt (*1.*) in einer verwandtschaftlichen Beziehung zu dem soeben erwähnten Erfinder gestanden hat. Im Jahre 1877 meldete er ein deutsches Patent auf einen sehr ähnlichen Gegenstand an; er benutzte zur Herstellung seines Brillenglases überfangenes belgisches Spiegelglas und schliff die Überfangschicht zuerst gehörig dünn. Man erkennt, daß hier in gewisser Weise eine Verbesserung des alten Lerebourssschen Verfahrens durchgeführt worden war, die später unter anderem Namen wieder auftreten sollte.

§ 105. An der Fassung der Bifokalbrillen brachte I. S. Doten (*1.*) 1877 die Änderung an, daß sie um eine horizontale Achse gedreht werden konnten. Diese Einrichtung hatte ohne Zweifel den Zweck, das größere Fernglas unter Umständen, beispielsweise beim Gehen auf ungleichmäßigem Boden, herunterbringen zu können. Es fielen dann für die abwärts gerichteten Augen die Naheteile nicht mehr störend in das Gesichtsfeld. Im Anschluß daran

hat F. K. Roberts *1.* 1884 den leicht verständlichen Vorschlag gemacht, die horizontale Drehungsachse nicht durch die Trennungslinse des Nahe- und des Fernteils gehen zu lassen.

Wenn diese Vorschläge nun auch sicherlich von Nachdenken zeugen, so kann man sie doch nicht als gerade glückliche Lösungen des Problems ansehen, denn eine Drehung um eine horizontale Achse muß das Glas gerade umgekehrt vor das Auge bringen, bei einem Meniskus also die erhabene Seite dem Auge zukehren. Man kann wohl mit einiger Sicherheit darauf schließen, daß in jenen Jahren meniskenförmige Bifokalgläser in Amerika noch nicht in regelmäßigem Gebrauch waren. Die von F. C. Donders erwähnte Herstellung von bifokalen Menisken ist also in Amerika damals noch nicht oder doch nicht regelmäßig geübt worden.

Ungefähr um dieselbe Zeit, 1878, trat J. R. Rowell *1.* mit der alten Hertelschen Zonenlinse auf. Er hat sie als ein Leseglas mit nur zwei Zonen auf den Markt gebracht, doch ist von einem Erfolg nichts laut geworden. Daß er seinen alten Vorgänger gekannt habe, ist ganz unwahrscheinlich.

Auf die Randgestaltung bezieht sich ein 1879 nachgesuchtes deutsches Patent von G. Rodenstock *1.* in Würzburg auf eine Randnute, die dunkel gefärbt wurde, um Reflexe am Rande zu vermeiden.

§ 106. N. Lazarus *1.* erhielt 1881 ein englisches Patent auf achromatische Brillen, wobei die beiden, an einer Planfläche zusammenstoßenden Glasarten durch hohe Temperaturen in eine feste Verbindung miteinander gebracht worden waren. Wie man sieht, handelt es sich hier um die Anwendung jenes als eigentlich amerikanisch bezeichneten Mittels zur Herstellung der sonst als bekannt anzusehenden achromatischen Brillengläser. Es läßt sich nicht mehr entscheiden, warum sich diese doch recht wichtige Neuerung nicht einführte; man kann nur sagen, sie scheint nach den allerdings sehr lückenhaften und nur gelegentlichen Berichten, wie sie leider für das Brillenwesen charakteristisch sind, keinen Anklang gefunden zu haben.

§ 107. Sehr bald darauf wird an der Ausbildung der stenopäischen Brillen gearbeitet, die, wie oben bemerkt, von F. C. Donders in die Praxis der Augenheilkunde eingeführt worden waren. Sie fanden neben ihrer Verordnung für stark kurzsichtige Augen auch noch als Schießbrillen Verwendung, wo es bequem war, daß sie nicht nur eine höhere Schärfe des einzelnen Punktes gewährleisteten, sondern auch die Schärfentiefe steigerten. Man konnte also mit einer solchen Brille Kimme, Korn und Ziel zu gleicher Zeit scharf sehen. In England scheinen sie ziemlich früh unter dem Namen Orthoptics bekannt geworden zu sein. Sie traten von neuem 1885 auf, wo Ch. Slotterbeck *1.* ein Patent auf eine Brille anmeldete, deren rechtes Glas links oben so abgedeckt war, daß die Deckung in ihrer

Mitte ein kleines Loch freiließ. Bereits im Jahre darauf, 1886, empfahl H. P. Miller (*1.*) Lochgruppen, und 1895 ließ sich der Breslauer Augenarzt Fr. Heilborn (*1.*) eine Lochbrille schützen, die systematisch angeordnete Lochreihen trug, um hochgradig kurzsichtigen Patienten ein bequemes Lesen zu ermöglichen. Da er im Text gegen die Siebbrille seines Kollegen A. Roth polemisiert, so ist es nicht ausgeschlossen, daß sich aus Schriften der Ophthalmologen eine Entwicklungsgeschichte der Lochbrille zusammenstellen läßt.

§ 108. Der Australier P. J. Edmunds (*1.*) suchte 1889 einen Schutz nach auf eine prismatische Brille, die er so zu berechnen wünschte, daß sie nahe Gegenstände mit beiden Augen korrekt zu betrachten gestatte. Da er aber die dafür nötige Prismenwirkung nur mit Hilfe von Annäherungsformeln berechnete, so wird sein Resultat voraussichtlich nicht sehr vollkommen gewesen sein.

§ 109. Eine elegante Hilfsbrille für Farbenblinde wurde 1891 Fr. von Kamptz (*1.*) patentiert, wobei ein rotes und ein grünes Prisma die von einem Objektpunkt kommenden Strahlen in entgegengesetzten Richtungen ablenkten. Betrachtete man durch dieses Prismenglas ein rotes oder ein grünes Licht, so mußte eines der abgelenkten Bilder viel dunkler erscheinen als das andere, und eine solche Helligkeitsverschiedenheit ist selbstverständlich auch dem Farbenblinden erkennbar.

§ 110. Von viel geringerer Bedeutung ist der Vorschlag gewesen, Zelluloid als Material für die Brillen zu verwenden, wofür 1893 R. Hansel (*1.*) einen Schutz in England nachsuchte. — H. Bluhm (*1.*) ließ sich 1895 Brillengläser mit breiten farbigen Rändern schützen, eine Einrichtung, die offenbar den alten visual spectacles (s. S. 120), sehr nahe kommt. — Schließlich macht H. Hart (*1.*) 1896 einen Vorschlag für die Gestaltung des Randes, worin ein richtiger Kern enthalten ist. Er schlug vor, den Rand durch einen von der Pupillenmitte aus zu konstruierenden Kegel ausschneiden zu lassen.

§ 111. Mit den Zusatzbrillen beschäftigte sich 1894 A. Bourgeois (*1.*) zunächst unter Beschränkung auf Staroperierte, indem er in einem sehr klaren Aufsatze die Anordnung empfahl, die Fernbrille aus zwei Teilen zusammenzusetzen und nur für das Lesen das negative Zusatzglas wegzuklappen. Zwei Jahre später führte er (*2.*) diesen Gedanken allgemein für solche Brillen durch, die alterssichtige Augen unterstützen sollten. Aus dem ungefähr gleichzeitigen, A. Bourgeois übrigens nicht erwähnenden Artikel von J. Galezowski (*1.*) läßt sich erkennen, wie schwer Neuerungen Eingang finden. Indessen darf hier nicht der Hinweis auf J. Day (*1.*) und W. Cartwright fehlen, die sich schon 1886 den Vorschlag hatten schützen lassen, den Zusatzteil beim Lesen herunterzuschlagen. Wie es scheint, haben sie ihrer Neuerung aber keine weitere Verbreitung geben können, und ferner

läßt es die viel eingehendere Behandlung, die A. Bourgeois seinem Thema in zwei ausführlichen Artikeln hatte geben können, angezeigt erscheinen, sich nicht auf die Anführung dieser eigentlichen Erfinder zu beschränken.

§ 112. Versucht man auch für diesen Zeitraum zu einem zusammenfassenden Urteil zu gelangen, so war die allmählich erwachsende Wissenschaft der Ophthalmologie von großem Einfluß auf die Entwicklung des Brillenwesens. Neben den Medizinern haben indessen auch Optiker von Fach in wesentlichen Punkten die Brillenkunde gefördert, sei es, daß sie auf neue Hilfsmittel hinwiesen oder bereits bekannte verbesserten. Namentlich die französischen Techniker haben sich dabei durch reiche Erfindungsgabe und großes Geschick bei der Anpassung ausgezeichnet, während die Angehörigen der amerikanischen Schule die Vorteile der großen Fabrikbetriebe dadurch voll (und weiter als ihre europäischen Kollegen) ausnutzten, daß sie ihre Haupttätigkeit auf die individualisierende Anpassung der Brille legten.

Bei all' diesen reichen Vorzügen bleibt aber ein Mangel bestehen, und in ihm ist der Grund dafür zu suchen, daß die Theorie der Brille nicht schon in diesem Zeitraum abgeschlossen wurde, und das ist das mangelnde Verständnis für die Funktion des Auges beim freien direkten Sehen. Soweit die Anforderungen formuliert wurden, blieb man — in vielen Fällen sicherlich unbewußt — bei der alten Annahme eines ruhenden Auges, und wenn man auch in einzelnen Fällen, wie bei der Elkingtonschen und den verschiedenen Siebbrillen tatsächlich davon abwich, so fehlte doch die klare Einsicht und die deutliche Gegenüberstellung der alten und der neuen Grundgedanken.

In der mangelnden Anteilnahme der deutschen technischen Optiker gleicht aber dieser Zeitraum dem ersten wie ein Ei dem andern. Gewiß fehlen jetzt deutsche Patente nicht ganz — sie gehören aber nicht zu den theoretisch wichtigeren Teilen des Gebietes — und bedeutende Vorschläge, wie die Vorarbeiten zur Einführung der Dioptrie gehen von Gelehrten aus, aber all' das reicht nicht entfernt an die Rolle heran, die die deutschen Optiker im Instrumentenbau spielten. Als Grund läßt sich wohl anführen, daß die Brille in Deutschland noch nicht als ein »edles« Instrument im Sinne J. Petzvals betrachtet wurde, während das glänzende Aufblühen der deutschen Präzisionsoptik um das Ende dieser Zeit die guten Kräfte in den Dienst der optischen Instrumente von verwickelterem Bau stellte. Diese Beschränkung auf ein spezielles Gebiet ließ der wissenschaftlich geförderten technischen Optik in Deutschland die Eigentümlichkeit ganz entgehen, die das Auge als optisches Instrument von den künstlichen Instrumenten völlig absondert, und so kam es, daß der letzte und eigentliche Fortschritt in der Brillenoptik erst recht spät angebahnt und außerordentlich langsam und zögernd, ja fast zufällig herbeigeführt wurde.

3. Die Ausbildung der Herstellungsmethoden und die Förderung der Theorie seit dem Ende des 19. Jahrhunderts.

§ 113. In der neuen Zeit sollte die Versorgung des Marktes in einer zwiefachen Weise angestrebt werden. Zunächst lag es nahe — und in der Tat wurde namentlich in Amerika die Aufgabe auch wirklich im wesentlichen in dieser Beschränkung in Angriff genommen — von der stillschweigenden Voraussetzung auszugehen, die richtigen Brillenformen seien bereits bekannt, und es handle sich nun noch darum, durch billige und dem Fabrikanten vorteilhafte Herstellungsmethoden Waren zu erzeugen, die gleichzeitig durch die Eleganz des Äußern, durch Leichtigkeit und gute Materialbeschaffenheit, sowie vor allem durch völlige Gleichmäßigkeit und die damit verbundene weitgehende Ersatzmöglichkeit einzelner Teile auch den Käufern Vorteile böten, die sie mit angemessenen Preisen zu bezahlen willens seien. Anderseits aber mußte doch einmal die Zeit kommen, wo jene stillschweigend gemachte Voraussetzung nicht bloß entschieden bestritten, sondern auch ein Weg gewiesen wurde, die Leistungsfähigkeit des Brillenglases zu steigern. Wurde hiermit das Hauptgewicht auf die theoretischen Grundbedingungen gelegt, so blieb — ihre Berücksichtigung durch einen der Aufgabe gewachsenen Theoretiker einmal vorausgesetzt — die Aufgabe noch übrig, die Herstellung dieser neuen Formen technisch günstig zu gestalten und damit die Vereinigung jener beiden Äste der Entwicklung zu ermöglichen, in denen sich auch der Werdegang der Brille vollzogen hat: denn bei allen optischen Instrumenten kann die Beobachtung gemacht werden, daß es zwei ganz verschiedene Antriebe sind, die auf den Fortschritt und die Verbesserung der Leistungen wirken, das versuchsfrohe Tatonnement und die durch theoretische Kenntnisse geleitete Rechnung. Diese kommen in den verschiedenen Perioden der Entwicklungsgeschichte gewöhnlich einander ausschließend zur Geltung, und ein Abschluß wird erst erreicht, wenn die mittlerweile erstarkte Theorie die Gründe für den durch das Tatonnement erreichten Erfolg aufgedeckt und den Konstrukteur in den Stand gesetzt hat, das mit den vorhandenen Mitteln überhaupt mögliche zu leisten.

Bei der Brille scheint diese abschließende Periode in der Gegenwart einzutreten, und es ist die Aufgabe des Historikers, das Schicksal jener beiden Teilbestrebungen in der letzten Vergangenheit zu verfolgen, die als das Elternpaar der vollendeten Entwicklung angesehen werden können.

Die Erweiterung der Mittel zur Herstellung bekannter Brillenformen.

§ 114. Die Versuche, Neuerungen einzuführen, sind zahlreich, doch kann man nicht immer sagen, daß es sich um sehr wertvolle Ideen gehandelt habe; ein besonders großer Eifer wurde den Bifokalgläsern

gewidmet, für deren Herstellung namentlich in Amerika so ziemlich alle Möglichkeiten erschöpft wurden, die überhaupt für die Lösung dieser Aufgabe vorliegen. Die außer den Bifokalgläsern in Betracht kommenden Neuerungen sollen zuerst erledigt werden.

Eine sehr lebhafte Reklame wurde seit dem Jahre 1896 für die Isometropgläser gemacht. Nach einem Bericht von J. Galezowski (*2.*) sind sie um diese Zeit von dem Pariser Optiker .. Reverard in den Handel gebracht worden. Er verwandte dazu Bariumkron von $n_D = 1{,}5778$ und $\nu = 58$ und tat sich auf die schwächeren Außenkrümmungen viel zugute, die er bei dem höheren Brechungsexponenten erhielt, wenn er die gewohnten Werte der Flächenbrechkräfte herbeiführte. Aus früheren Auseinandersetzungen (z. B. S. 43) ist bekannt, daß die Problemstellung unrichtig war, wenn sich diese Lösung ergab. Auf die Stärke der Außenkrümmungen kommt sehr wenig an, da die dadurch beeinflußte sphärische Aberration im engeren Sinne als Fehler bei der Brille nicht ins Gewicht fällt. Die Fehler schiefer Büschel aber lassen sich bei richtiger Durchbiegung für ein beliebiges Glasmaterial heben, und die Erhöhung des Brechungsexponenten schafft allein an den Grenzwerten, also im wesentlichen nur für schwächere Starlinsen, eine kleine Erweiterung des Gebietes.

§ 115. In demselben Jahre meldete F. Nitschmann (*1.*) ein Gebrauchsmuster auf eine Gestaltung der Trägerschicht[1]) an, die anscheinend viel Beifall gefunden hat. Er kittete an die Innenseite einer plankonvexen oder meniskenförmigen Trägerschicht von schwacher Wirkung ein kleineres kreisrundes Brillenglas von der eigentlich vorgeschriebenen Brechkraft. Dabei unterschied er aber seine Gläser sorgfältig von der ähnlichen Form, wo ein plankonvexes Hauptglas vorn auf eine planparallele Trägerschicht aufgekittet wurde. Aus Gründen, die sich aus der Durchforschung des hier benutzten Materials nicht ergeben, nannte er solche Zusammensetzungen Franklinsche Gläser. In seiner Beschreibung sprach er verständlicherweise von seiner Neuerung als von Gläsern neuer Schleifart, und dieser Ausdruck hat sich — sehr bezeichnend für die geistige Höhe der deutschen Fachliteratur — in die Schriften der Optiker eingeschlichen, obwohl er so aus dem Zusammenhang gerissen vollständig sinnlos ist. — Die Herstellung einer solchen Franklinschen Linse im Nitschmannschen Sinne aus einem einzigen Glasstücke bildete den Gegenstand einer von M. Bentzon (*2.*) 1907 veranlaßten Eintragung. — Ebenfalls im Zusammenhange mit einer besonderen Gestaltung des Randes stand ein 1908 von E. Klein (*1.2.*) nachgesuchter Schutzanspruch, wo von einem stark durchgebogenen Meniskus

[1]) Eine genaue Abgrenzung seiner Verdienste denen gegenüber, die sich W. Pugh (*1.*) und J. Field bereits 1868 erworben hatten, ist bei der außerordentlich knappen Fassung der älteren Beschreibung nicht möglich.

verschwindender Brechkraft vorn eine Sammellinse abgeschliffen wurde. Dadurch ergab sich eine starke Zerstreuungslinse an einer meniskenförmigen Trägerschicht. — Aus dem Jahre 1902 stammte eine streifenförmige Glasform, die auf E. Ribard (*1.*) zurückgeht. Offenbar wünschte er den Träger eines solchen Klemmers in den Stand zu setzen, sowohl oberhalb als unterhalb an seinem Glase vorbeizusehen; man geht wohl in der Annahme nicht fehl, daß es sich meistens um schwächere Gläser, wahrscheinlich sogar vornehmlich um solche gehandelt hat, die als Lupen- oder Presbyopenbrillen verwendet wurden.

Wenn jetzt die Bifokalbrillen behandelt werden sollen, so wird es zweckmäßig sein, von der rein chronologischen Anordnung abzusehen und sie nach den Möglichkeiten zu scheiden, die bei ihrer Herstellung vorkommen können.

§ 116. **Die durch mechanische Vereinignng getrennter Linsenteile gebildeten Bifokalgläser.** Diese für die Praxis der Brillenträger älteste Methode ist in der Neuzeit fast ganz verlassen worden, weil sie doch zu schwerwiegende Nachteile aufweist. Dazu gehören in erster Linie die größere Verletzbarkeit und die Unmöglichkeit, die Ansammlung von Staub und Unsauberkeiten an den Stellen zu vermeiden, wo die verschiedenen Glasteile zusammenstoßen. Dadurch aber wird die Aufmerksamkeit der Umgebung auf den Umstand gelenkt, daß der Brillenträger alterssichtig ist. Auch das Gewicht eines solchen Glases ist größer. Wie es scheint, hat im 20. Jahrhundert nur der Amerikaner W. K. Kight (*1.*) noch diese Herstellungsmethode beibehalten. Übrigens bemühte er sich um die Einführung von Tri- und Quadrifokalgläsern, um so den Presbyopen auch für mittlere Entfernungen zu unterstützen.

§ 117. **Die durch Verkittung gebildeten Bifokalgläser.** Die neuen Bestrebungen beginnen hier mit einem Patent von J. L. Borsch (*1.*) vom Jahre 1899, wo wohl zum ersten Male deutlich davon die Rede ist, daß die kleine, nach innen noch herausstehende Zusatzlinse aus einem Material von höherem Brechungsexponenten bestehen solle. Die Bestrebungen aber gehen offenbar dahin, die Außenflächen kontinuierlich zu machen, was in einem gleichzeitigen Patent desselben Autors (*2.*) dadurch erreicht wurde, daß eine Flintlinse zwischen zwei Deckschichten aus Kron eingekittet wurde. — Eine interessante Modifikation dieser Borschischen Idee findet sich zunächst in dem Anspruch von L. Bell (*1.*) vom Jahre 1905, wo zwischen der aus hochbrechendem Kron hergestellten Hauptlinse und dem entsprechenden Deckglase eine Kittschicht von dem Brechungsexponenten des Krons angebracht wird. Diese Kittschicht hat den Zweck, die Hohlräume auszufüllen, die sich sonst infolge der Formfehler des Kronteils bilden und die Wirkung stören würden. Anderseits kam H. C. Joerden (*1.*

in seinem 1907 veröffentlichten Patent auf die Idee, der inneren, von zwei Sammellinsen aus Kron eingeschlossenen Flintlinse eine negative Brechkraft zu geben. Durch Aussparung eines Stückes im unteren Teile der Flintlinse konnte er dem Gesamtsystem an dieser Stelle den gewünschten Zuwachs an Brechkraft verleihen. Wieder mehr eine Fortsetzung des Bellschen Gedankens erscheint in der Konstruktion J. Aitchisons (*1.*), der 1907 eine im Innern der beiden äußeren Linsen befindliche Luftlinse mit erhitztem Kanadabalsam ausfüllte. Man sieht ein, daß hier eine von W. Wray (*1.*) für andere Zwecke benutzte Möglichkeit ihre Anwendung auf die Brille gefunden hat.

Nicht unmittelbar in diese Entwicklungsreihe hinein gehört S. Slagle (*1.*), der 1906 bei der Anordnung der Nahegläser auf den Fernlinsen darauf hinwies, daß die Zentren der Naheteile eine geringere Entfernung haben müßten, als die der Fernteile. Er erwähnte auch die Möglichkeit, den Nahelinsen keine höhere Brechkraft zu geben, sondern für akkommodationsfähige Brillenträger nur ihre Zentren mehr aneinander zu rücken.

§ 118. **Die durch Verschmelzen gebildeten Bifokalgläser.** Die erste Erwähnung dieses Gedankens in der neuen Zeit findet sich 1897 bei Gelegenheit eines ausführlichen Vortrages vor der Pariser Ophthalmologischen Gesellschaft, den J. R. Borsch jr. (*1.*) hielt, ein Pariser Augenarzt amerikanischer Abstammung, der damals eine Assistentenstelle unter L. de Wecker eingenommen zu haben scheint. Er brachte namentlich die Idee vor, als Zusatzlinsen für Bifokalgläser solche aus höher brechendem (Flint-) Glas zu verwenden (s. S. 67), um die für eine vorgeschriebene Brechkraft nötigen Krümmungen möglichst zu vermindern. Daß er nebenbei torische Linsen für Stargläser empfahl, ist wohl kaum als neu anzusehen, ebensowenig wie sein Vorschlag, kleine, kreisrunde Starlinsen an einem breiten, indifferenten Glasrande zu tragen; denn er geht sicherlich in seinen einfacheren Formen auf E. Courvoisier (*1.*) (s. S. 131) wenn nicht gar auf W. Pugh (*1.*) und J. Field zurück, und man kann für die komplizierten auf F. Nitschmann (*1.*) verweisen. Entschieden irreführend ist die Aussage, daß die Verwendung von aufgekitteten Flintlinsen bei den Bifokalgläsern eine Verbesserung des Farbenfehlers herbeiführen könne. Just das Gegenteil ist bei den doch hauptsächlich besprochenen Sammellinsen der Fall, da dort im wahren Sinne hyperchromatische Kombinationen geschaffen werden, und nur bei Zerstreuungslinsen kann das Naheglas aus Flint die farbigen Abweichungen verbessern. Verschiedene Unrichtigkeiten und Ungenauigkeiten wurden übrigens schon in der Diskussion gerügt, und zwar bemerkte L. de Wecker (*1.*), daß man in Amerika bereits den Versuch gemacht habe, das Zusatzglas aus Flint mit dem Träger aus Kron zu verschmelzen. .. Parent (*1.*) kritisierte die Ansicht von J. L. Borsch jr.

über die Starlinsen und empfahl, für diese im Gegenteil lieber höhere Mittel aufzuwenden und etwa die Brechung auf vier Flächen zu verteilen.

Es dauerte aber noch eine ziemlich lange Zeit, ehe die von L. de Wecker geäußerte Möglichkeit den Gegenstand eines Patentes bildete. Ein solches ward zuerst 1904 von dem soeben genannten Augenarzt J. L. Borsch jr. (*2.*) angemeldet, aber in Amerika erst spät erteilt. Kronglaslinsen, die den Fernteil bilden, werden an der unteren Seite mit geeigneten Höhlungen versehen. In diese werden kleine Flintlinsen eingeschmolzen, und dann begrenzt die gleiche Außenfläche — meist die nach dem Auge zu gelegene — die Träger- und die Zusatzlinse. Diese Brillengläser sind in Amerika unter der Bezeichnung der Kryptok-Gläser bekannt. Natürlich ist diese Bezeichnung cum grano salis zu verstehen, denn es macht sich dem aufmerksamen Beobachter eines solchen Brillenträgers der Überschuß der Brechkraft des Zusatzglases durch eine verschiedene Vergrößerung des Hintergrundes (als solcher dient etwa das Auge des Brillenträgers) sofort erkennbar.

Patente auf Einzelheiten des Schmelzverfahrens wie die von Ch. N. Brown (*1.*) vom Jahre 1906 (allmähliche Erweichung der mit einer stärker gekrümmten Fläche versehenen Flintlinse), C. F. Dieckmann (*1.*) (eigentliches Schmelzverfahren) und J. R. Schwinzer (*1.*) (Anwendung der Gebläseflamme) vom Jahre 1907 seien nur eben erwähnt; dagegen sei auf die abweichenden Verfahren von J. Wimmer (*1.*) und W. I. Seymour (*1.*) vom Jahre 1907 aufmerksam gemacht. Während der Erstgenannte die beiden Bestandteile des Doppelfokusglases durch einen leicht schmelzbaren Glasfluß vereinigt, wendet der zweite ein Verfahren an, das auf der Benutzung der Glasbläserpfeife beruht, eine Methode, die er (*2.*) in der letzten Zeit noch umgestaltet hat. Ferner sei auf die etwa gleichzeitige Anmeldung von W. Bausch (*1.*) hingewiesen, wo eine Kronlinse in ein eben erweichtes Flintstück hineingepreßt wird. Hier liegt der Vorteil vor, daß nur eine Fläche der inneren Grenzschicht optisch zu bearbeiten ist. In den späteren Jahren ist dann noch eine Reihe von weiteren Patenten genommen worden, die sich an die hier erwähnten anschließen. Es entspricht das der Wichtigkeit, die dem Doppelfokusglas auf dem amerikanischen Markt beigemessen wird.

Eine Verbesserung solcher Systeme in Hinsicht auf die Farbenfehler machte E. Busch (*3.*) im Frühjahr 1909 bekannt. Zum Material der Trägerlinse wählte er Kronglas von besonders niedriger Brechung

$$n_D < 1{,}51.$$

Er war dann in der Lage, für den Naheteil eine Glasart zu verwenden, die bei niedrigerem Brechungsexponenten auch eine niedrigere Dispersion aufwies als das früher zu diesem Zwecke verwendete Material.

§ 119. **Die durch Anschliff gebildeten Bifokalgläser.** Die Weiterbildung dieser im Prinzip ältesten Form von Bifokalgläsern vollzog sich sehr langsam. Einen wesentlichen Fortschritt leitete erst der Londoner Photograph W. E. Debenham (*1.*) 1898 ein. Er ging von dem Gedanken aus, daß die beste Form auch eines Bifokalglases durch einen Meniskus geliefert werde. Er beanspruchte einen Schutz auf die Herstellung solcher Menisken mit Verstärkung der Brechkraft des unteren Teiles sowohl durch Schleifen allein als auch durch die Kombination eines Schmelz- und eines Schleifverfahrens. Die letztgenannte Herstellungsart sollte dann Anwendung finden, wenn die Sprungschicht zwischen den beiden Teilen zu vermeiden wäre. Einen Einfluß auf die Fabrikation scheinen diese Ideen nicht ausgeübt zu haben, wohl deswegen, weil W. E. Debenham der Brillenindustrie gar zu fern stand.

Ebenfalls die Qualität der Abbildung haben zum Ziel zwei Schutzansprüche von E. Busch (*1.*) und (*2.*). Bei dem ersten wird der außen angebrachte Naheteil besser zu der Innenfläche des Meniskus zentriert, und bei dem zweiten Anspruch wird tatsächlich der Gedanke konsequent durchgeführt, die beiden Teile des Bifokalglases zentrierte Systeme bilden zu lassen. Das Konstruktionsprinzip ist bereits auf S. 64/65 besprochen worden.

Von praktischer Bedeutung wurde das Herstellungsverfahren des Londoner Optikers M. Bentzon (*1.*), sehr komplizierte, auch unstetig verlaufende Begrenzungsflächen durch ein mit variabler Geschwindigkeit rotierendes ringförmiges Werkzeug herstellen zu lassen. Die in dieser Art geschliffenen Bifokalgläser finden unter dem Namen der Uni-Bifo-Gläser vorderhand in Europa wohl noch einen besseren Markt als die durch ein Schmelzverfahren hergestellten amerikanischen Marken. Sie werden, soweit es sich um Sammelgläser handelt, sowohl mit Sprungschicht als auch ohne eine solche als Uni-Bifo-Luxe-Gläser hergestellt. M. Benzon liefert die nach seinem Patent hergestellten Gläser unter dem Namen der Doppelzentrikgläser auch so zentriert, daß die optischen Mittelpunkte der Naheteile einander ein wenig mehr genähert sind als die der Fernteile.

Eingehende Angaben über die Anbringung der dritten Fläche gibt eine Patentschrift der Firma C. Zeiss vom Jahre 1909, die auf M. von Rohr (*10.*) zurückgeht. Hier wurde die Ostwaltsche Form des korrigierenden Glases zugrunde gelegt, und die Zusatzwirkung des Naheteils wurde an der stärker gekrümmten der beiden Außenflächen angebracht.

Die Entwicklung der Korrektionsbedingungen der Brille für das Sehen mit bewegtem Auge.

§ 120. Der Anlauf, den W. H. Wollaston im Anfang des 19. Jahrhunderts genommen hatte, regte lange Zeit hindurch zu keinen weiteren

Untersuchungen an. Man schliff wohl sogenannte periskopische Gläser (mit 400 mm Radius), versuchte auch wohl stärker durchgebogene Formen, aber man kam in der Erklärung der Leistung nicht weiter.

Der erste Versuch, der auf Grund theoretischer Behandlung gemacht wurde, stammt aus dem Jahre 1898 und geht auf den in Paris ansässigen Augenarzt F. Ostwalt zurück. Da die Bedeutung dieses Autors in dieser Schrift ohne Rückhalt anerkannt worden ist, so verlohnt es sich wohl, etwas näher auf seine Behandlungsweise einzugehen und die Gründe dafür aufzusuchen, daß seinen Veröffentlichungen keine Umwälzung in der Formgebung für Brillengläser folgte.

Im Mai 1898 erschien ein summarisch gehaltener Aufsatz aus der Feder F. Ostwalts (*1.*) in den Berichten der Pariser Akademie. Man lasse die Gesichtslinie eine um 25° von der Primärstellung abweichende Lage einnehmen, dann habe er durch eingehende Rechnungen festgestellt, daß für Konkavgläser

$$0 > D_1 \geqq -12 \text{ dptr}$$

stets zwei Formen, eine schwächer und eine stärker durchgebogene, beständen, für die der Astigmatismus schiefer Büschel für dieses Gesichtsfeld endlicher Ausdehnung gehoben sei. Experimentelle Versuche mit

$$D_1 = -4 \text{ dptr und } D_1 = -9 \text{ dptr}$$

hätten die Ergebnisse der Rechnung bestätigt. Dagegen habe seine Rechnung für Brillengläser positiver Brechkraft wenn überhaupt, dann nur einen ganz verschwindenden Vorteil ergeben.

Bei der Lektüre dieser ersten Mitteilung fällt es auf, daß des Augendrehpunktes keine direkte Erwähnung geschieht. Doch erhält man eine größere Klarheit über die Ansichten des Verfassers in betreff dieses Punktes aus seiner im Herbste desselben Jahres folgenden ausführlichen Arbeit (*2.*).

Nach einem kurzen historischen Rückblick, der die Bedeutung W. H. Wollastons erkennen läßt, wird zunächst die sphärische Aberration von Menisken im Anschluß an S. Czapskis Darstellung behandelt. Doch kommt der Autor (*485/86*) zu dem Ergebnis, daß der Betrag der sphärischen Aberration für seine Aufgabe ziemlich wenig bedeute, und wendet sich alsdann seiner eigentlichen Aufgabe zu. Er sei von den Hermannschen Formeln ausgegangen und habe sich das Problem gestellt, den Astigmatismus längs schiefen Strahlen aufzuheben. Dabei habe als Kreuzungspunkt ein [virtueller] Punkt gedient, der 30 mm hinter der Vorderfläche des Brillenglases gelegen sei, und nach dem der objektseitige Strahl mit einer Neigung von 25° ziele. Die trigonometrische Verfolgung dieses Hauptstrahls durch das Brillenglas habe dann die Elemente geliefert, um nach jenen Formeln den Astigmatismus längs ihm festzustellen, und es sei die Linse so lange durchgebogen worden, bis der Astigmatismus schiefer

Büschel verschwunden sei, was auf zwei verschiedene Linsenformen führe. Dabei habe er als praktisch wichtigsten Fall den Objektpunkt im Unendlichen angenommen, doch sei er sich wohl bewußt, daß eine andere Festsetzung hinsichtlich der Lage des Objektabstandes auf etwas andere Linsenformen führen werde.

Hiermit ist offenbar das Material wiedergegeben worden, das der ersten Veröffentlichung zugrunde gelegen hat. Man muß — namentlich vom Standpunkte des Optikers aus — rückhaltlos die Energie des Verfassers anerkennen, in den berufsfreien Stunden die für einen Nicht-Fachmann geradezu gewaltigen Rechnungen durchzuführen. Seine Methode der Durchbiegung erwies sich als äußerst fruchtbar, und sie führte ihn zur Erkenntnis der Doppellösigkeit der Aufgabe. Da er hier wie in seinen späteren Arbeiten aus ganz verständlichen Gründen die schwächer durchgebogenen Formen bevorzugte, so schien es passend und angemessen, diesen Teil der oben (S. 42 u. ff.) behandelten Kurve mit seinem Namen zu bezeichnen, während der andere Teil, bei dem sich die Inzidenzen den senkrechten viel mehr nähern, zweckmäßig W. H. Wollastons Namen führt. Bei allen diesen Vorzügen darf aber nicht verhehlt werden, daß zwei prinzipielle Fehler F. Ostwalt nicht an das Ziel gelangen ließen, das er sich gesteckt hatte. Einmal war ihm ein Formelfehler bei der Berechnung der Schnittweite der Sagittalstrahlen untergelaufen, den er übrigens selbst in einer späteren Arbeit (*4.*) richtig gestellt hat, sodann aber hatte er bedauerlicherweise eine Verwechslung des scheinbaren Augenorts und des Auges begangen: denn nicht der scheinbare Augenort liegt bei einem Brillenglase 30 mm hinter der Vorderfläche, sondern der Drehpunkt des Auges selbst befindet sich in einer Entfernung von 25 bis 30 mm hinter dem ihm benachbarten Flächenscheitel. Es handelt sich bei der Ostwaltschen Zeichnung (*489*) darum, daß D der scheinbare Augenort, G der Ort des Augendrehpunkts ist. Für die Ostwaltschen dickenlosen Zerstreuungslinsen ergibt sich für Paraxialstrahlen der Augenabstand x' aus dem Abstande δ des scheinbaren Augenorts und der Brechkraft D_1 des Brillenglases nach der Grundgleichung (*9*) auf S. 73 zu

$$\frac{1}{x'} = \frac{1}{\delta} + D_1,$$

d. h. wenn man mit F. Ostwalt

$$\delta = 30 \text{ mm und } D_1 = -4 \text{ dptr oder} = -9 \text{ dptr}$$

setzt, zu

$$x'_{-4} = 34{,}1 \text{ mm} \qquad x'_{-9} = 41{,}1 \text{ mm}.$$

Es ergeben sich also Werte, die wahrscheinlich nicht einmal bei den Versuchen eingehalten worden sind, die aber ganz sicher nicht beim regelmäßigen Tragen der Brille vorkommen. Die Gerechtigkeit verlangt,

hervorzuheben, daß F. Ostwalt in einer Anmerkung (*505/06*) auf die Schwierigkeit hingewiesen hat, die ihm durch die sphärische Aberration seines Augenortes *G* gemacht wurde. Daß sein Ansatz aber schon für die Paraxialstrahlen einen Fehler enthielt, ist ihm anscheinend entgangen.

Faßt man alles zusammen, so würde die Ostwaltsche Annahme auf einen mit Aberrationen behafteten Augenort führen und ferner das Auge bei stärkeren Konkavgläsern unzweckmäßig weit vom Brillenglase entfernen, bei stärkeren Konvexgläsern es ihm untunlich nahe bringen. Namentlich für den zweiten Fall ist sein Versehen von einer besonderen Bedeutung.

Der 9. internationale Ophthalmologenkongreß zu Utrecht im Spätsommer 1899 gab F. Ostwalt (*3.*) Gelegenheit, noch einmal auf sein Thema zurückzukommen. Sein rechnerisches Material scheint er damals noch nicht erweitert zu haben, dagegen gab er eine photographische Prüfungsmethode an, die ein wenig näher behandelt werden soll. Sie findet sich übrigens auch in seiner nächsten Arbeit (*4.*) in deutscher Übersetzung. Er schlug eine Einrichtung vor, um mit Hilfe einer photographischen Kamera Aufnahmen durch ein Brillenglas zu machen, wobei dessen Achse entweder mit der Achse des photographischen Objektivs zusammenfiel oder in 30 mm Abstand von der Vorderfläche mit ihr einen vorgeschriebenen Winkel bildete. Es leuchtet ein, daß hier wirklich der Abstand von 30 mm auf den Ort von *G* bezogen wurde, und daß daher die Resultate der photographischen Prüfung nicht notwendig mit den Ergebnissen der Rechnung übereinzustimmen brauchten, wo diese Maßangabe für den Ort von *D* Geltung hatte. Diese experimentelle Methode empfahl der Verfasser zur Formbestimmung für schwache Sammellinsen.

§ 121. In der Diskussion meldete sich ein zweiter Fachmann zum Wort, dessen Name mit der Konstruktion von punktuell abbildenden Brillengläsern enge verknüpft ist, nämlich M. Tscherning (*1.*). Er erhob gegen die von F. Ostwalt zunächst immer noch festgehaltene Bemängelung des Korrektionszustandes bei positiven Linsen Einspruch, und wies darauf hin, daß mindestens die annähernde Rechnung zeige, daß bei mäßigen Brechkräften auch hier zwei punktuell abbildende Formen beständen. Auch die Verzeichnung zog er in den Kreis seiner Betrachtung, und er stellte fest, daß von den beiden durch F. Ostwalt ermittelten Formen die stärker durchgebogene weniger verzeichne. Demonstriert wurde die Verzeichnung durch photographische Aufnahmen auf ebenen Platten, bei denen dann natürlich die Bildkrümmung auffiel. Dies sah M. Tscherning für einen Brillenfehler an, ohne zu bedenken, daß bei der eigentlichen Benutzung der korrigierenden Brillengläser, die sich allerdings mit der Wirkung eines photographischen Objektivs auf einer Ebene auch nicht entfernt vergleichen

läßt, die Bildfeldkrümmung der überwiegenden Mehrzahl der Brillengläser viel zu gering ist. Zur Erzielung einer idealen Schärfenkorrektion sollte man eben die Bildfeldkrümmung des korrigierenden Brillenglases verstärken und nicht abschwächen. Was die verzeichnungsfreien Formen der Brillengläser angeht, so mögen diese bei der Besprechung der nächsten, eingehenderen Arbeit dieses Autors behandelt werden.

Besonderes Aufsehen scheinen diese Bestrebungen unter den Fachleuten nicht hervorgerufen zu haben, anscheinend deswegen, weil die Aufgabe selbst und ihre Behandlung noch völlig aus dem Gesichtskreis des hier als Käufer in Betracht kommenden Publikums herausfiel. So dauerte es noch einige Zeit, bis im Frühsommer 1900 F. Ostwalt (*4.*) in einer neuen und, wie es scheint, seine Bestrebungen in dieser Richtung abschließenden Arbeit den Faden noch einmal aufnahm.

§ 122. In einer früheren Arbeit (*2.*) sei ihm bei der Ableitung der Formeln [für die Sagittalstrahlen] ein Fehler untergelaufen, der zunächst zu berichtigen sei. Danach ändere sich der Verlauf der Kurve seiner Darstellung namentlich für die schwächeren Negativlinsen, und es stelle sich weiterhin heraus, daß auch Konvexgläser bis zu 6 dptr hin durch die richtige Wahl des Vorderradius korrigiert werden könnten, doch stehe hier die periskopische Wirkung merklich hinter der zurück, die bei passend geformten zerstreuenden Menisken zu erreichen sei. Die am meisten geeigneten Formen seien durch Probieren zu bestimmen.

Ohne die Bedeutung der Verbesserung zu unterschätzen, muß man aber doch hervorheben, daß das Hauptversehen, die Verwechslung von Auge und scheinbarem Augenort, auch durch diesen Nachtrag nicht gehoben wurde, und vielleicht läßt sich der zum Schluß erteilte Rat, die richtigen Formen durch systematisches Probieren zu ermitteln, durch den Mangel an Übereinstimmung erklären, in dem auch für den Verfasser die Resultate der trigonometrischen Rechnung und die Ergebnisse der photographischen Prüfung standen.

§ 123. Verhältnismäßig kurze Zeit danach, im September 1901, ließ ein Kollege F. Ostwalts, der Vorsteher der Augenklinik zu Newcastle-on-Tyne, A. S. Percival (*1.*) eine Arbeit erscheinen, die, von jener Vorgängerschaft beeinflußt, etwa auf dem Standpunkte stand, den F. Ostwalt (*2.*) eingenommen hatte. Als Aufgabe stellte er sich, für ein korrigierendes Brillenglas den Durchmesser des kleinsten Zerstreuungskreises (circle of least confusion) im Auge kleiner zu machen als einen Zapfenquerschnitt im gelben Fleck.

Zunächst untersuchte er ziffermäßig den Einfluß der sphärischen Aberration eines achsenparallelen Büschels auf die Verundeutlichung und fand ihn in dem betrachteten Falle verschwindend. Die Formeln, die er

für die t- und f-Strahlen (1- und 2-Strahlen nach der von ihm adoptierten Bezeichnung englischer Optiker) gab, sind richtig, doch verwechselt auch er wie sein Vorgänger das Auge mit seinem scheinbaren Ort, da der [virtuelle] Punkt M, nach dem die dünnen Parallelstrahlenbüschel gerichtet sind, eben der scheinbare Drehpunkt ist. Daß A. S. Percival über die Genauigkeit der Grundlagen der Rechnung im Unklaren war, kann man daraus ersehen, daß er die vordere Brennweite des Auges mit 15,498308 mm bis auf $\mu\mu$ genau annahm. Die Rechnung wird dann mit einer solchen Stellenzahl weitergeführt, daß auch bei größeren Winkeln (über $18^1/_2{}^0$) noch hunderttausendstel Winkelsekunden angegeben werden. Auf die Richtigkeit der Rechnung sei hier nicht weiter eingegangen, da jener prinzipielle Fehler vorliegt, und das Mißverhältnis zwischen dem vorgesteckten Ziel und den dafür aufgewandten Mitteln genügend erwiesen sein wird. Eine Tabelle für die Radien der den Ostwaltschen Kurventeil bildenden Linsenformen für

$$-20 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq 20 \text{ dptr}$$

machte den Schluß, und sie scheint auch in England ziemlich bekannt geworden zu sein.

Einen Nachtrag ließ derselbe Verfasser (2.) im Juli 1903 erscheinen, in dem er seine frühere Annahme einer konstanten Linsendicke von 2 mm berichtigte und nunmehr seine Tabelle für das Bereich

$$-16 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq 15 \text{ dptr}$$

neu bestimmte. Sie läßt sich nicht direkt mit der alten vergleichen, da er in der ersten Veröffentlichung die Radien der beiden Kugelflächen in Millimetern, in der neuen die Flächenbrechkräfte in Dioptrien angab. In beiden Arbeiten spielte er undeutlich darauf an, daß man die beste Form der periskopischen Linsen benutzen könne, um gute Formen der sphäro-torischen Linsen für astigmatische Augen zu finden. Er scheint dabei die torische Wirkung stets auf der konvexen Fläche angebracht zu haben.

§ 124. In dem großen Sammelwerke, Encyclopédie Française d'Ophtalmologie, vom Jahre 1904 setzte M. Tscherning (2.) auf Grund von Annäherungsformeln verschiedene Brillenformen fest. Er ging von dem richtigen Ansatze aus, daß sich die Hauptstrahlen nach dem Durchtritt durch das Brillenglas im Augendrehpunkt kreuzen müßten, und er entwickelte zunächst die in der Nähe der Achse geltenden Ausdrücke für die Krümmungsradien der beiden astigmatischen Bildflächen einer entsprechend benutzten dickenlosen Linse von vorgeschriebener Brechkraft. Es stellte sich heraus, daß man zwar anastigmatische Bildfeldebnung unter diesen Umständen nicht herbeiführen wohl aber durch zweckmäßige Verfügung über einen Flächenradius r_1 theoretisch die beiden Bildkrümmungen

einander gleich machen könne. Und zwar gebe es, da die Bestimmungsgleichung vom zweiten Grade sei, stets zwei Lösungen, wenn sich die Aufgabe überhaupt im Bereich der reellen Zahlen lösen lasse. Durch geeignete Spezialisierung

$$x' = 28 \text{ mm}; \qquad n = 1{,}52; \qquad s = \infty$$

ergäben sich als Grenzwerte für die Brennweiten, für die sich der Astigmatismus schiefer Büschel heben ließe,

$$-21{,}50 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq 6{,}94 \text{ dptr}.$$

Für Linsen außerhalb dieser Grenzen vermöge man nur die Bildfeldkrümmung dadurch günstig zu beeinflussen, daß man die Krümmungen der beiden astigmatischen Bildflächen möglichst klein zu machen suche.

Eine ganz ähnliche Behandlung ließ er auch der Verzeichnung zuteil werden. Es wurde der algebraische Ausdruck aufgestellt, der die Verzeichnung in der Nähe der Achse, also für verschwindende Hauptstrahlneigungen, ergeben sollte. Auch hier stellte sich eine quadratische Beziehung zwischen $\frac{1}{r_1}$ und D_1 ein, und es ergaben sich als Grenzwerte für eine Hebung der Verzeichnung mit reellen Radien der Grenzflächen

$$-20{,}59 \text{ dptr} \leqq D_1 \leqq 12{,}99 \text{ dptr}.$$

Eine tabellarische Aufführung von Radienwerten für punktuell abbildende Fern- und Nahegläser, sowie für orthoskopische Brillengläser, macht den Beschluß.

Versucht man dieser Arbeit ihre Stelle den soeben behandelten gegenüber anzuweisen, so besteht kein Zweifel, daß hier eine wirklich richtige Formulierung der Bedingungen für die Hebung des Astigmatismus im paraxialen Raum gegeben worden war. Anders als bei F. Ostwalt und A. S. Percival ist hier von einer Verwechslung des Auges mit dem scheinbaren Orte des Auges keine Rede mehr. Ferner erlaubte die analytische, auf die Annäherungsformeln führende Behandlung eine sehr übersichtliche Darlegung der Determinationen, die in dieser Aufgabe lagen, und sie ist auch in einer recht vollständigen Weise gegeben worden. Ein gewisser Rückschritt gegenüber F. Ostwalt findet sich aber in der Beschränkung auf die Nachbarschaft der Achse, wobei es zweifelhaft bleiben konnte, wie weit für die Hauptstrahlneigungen endlicher Größe eine Korrektion der Bildfehler zu erreichen sei, während F. Ostwalt doch durch sein empirisches Verfahren gezeigt hatte, daß auch längs Hauptstrahlen endlicher Neigung der Astigmatismus strenge gehoben werden konnte.

Weniger gelungen ist dagegen der Teil, wo es sich um die Angabe von Korrektionsbrillen handelt, die auf Verzeichnung korrigiert sein sollen. Hier zeigt die trigonometrische Durchbrechung einer Stichprobe, daß die

Verzeichnungsfreiheit für endliche Hauptstrahlneigungen keineswegs erreicht ist, und der Grund dafür ist in der analytischen Behandlung zu suchen. Es scheint übrigens unmöglich zu sein, eine einfache dünne Linse mit sphärischen Grenzflächen herzustellen, die für eine Blende von endlichem — nicht verschwindendem — Abstande die ferne Ebene verzeichnungsfrei in die Brennebene abbildet. Der von M. Tscherning (*2. 245—246.*) dafür vorgeschlagene Näherungsansatz gibt nur die Bedingung für die Aberrationsfreiheit des scheinbaren Drehpunktes, und er müßte noch durch einen Ausdruck ergänzt werden, der sich auf die Tangentenbedingung bei kleinen Neigungswinkeln bezieht. Diskutiert man mit A. König (*1. 248—249.*) und M. von Rohr den Ausdruck $V = 0$ für $\sigma = 0$, so ergibt sich für das Geltungsbereich der Annäherungsformeln die Unmöglichkeit, die obige Forderung zu erfüllen.

Ungefähr den gleichen Standpunkt nimmt eine spätere Arbeit desselben Verfassers (*3.*) ein, in der sich dieselben Ableitungen, zum Teil dieselben Figuren und dieselben Tabellenwerte finden wie in der eben besprochenen. Unter den Zusätzen interessiert hier die Mitteilung[1]) besonders, daß sich die Pariser Firma F. Benoist, L. Berthiot et C^ie^ bereit erklärt habe, die Wollastonsche Form der punktuell abbildenden Gläser als verzeichnungsfreie Brillengläser (verres orthoscopiques) regelmäßig anzufertigen. Aus der beigegebenen Figur 5b sieht man allerdings, daß ein solches Glas mit

$$D_1 = +10 \text{ dptr}$$

weder frei von Astigmatismus schiefer Büschel noch frei von Verzeichnung ist.

Den Beschluß bildete ein Apparat zur Messung der Brennweite eines Brillenglases, der das Prinzip des Porroschen Phozometers enthält, wonach man dicht vor das zu messende System einen Kollimator bringt, der das Bild einer Marke im Unendlichen unter einem genau bekannten Winkel entwirft. Mißt man die Ausdehnung des Bildes, das die zu messende Linse entwirft, so kann man unter Vernachlässigung der Verzeichnung sehr einfach die Äquivalentbrennweite ermitteln.

§ 125. Noch einige Zeit bevor die Tscherningsche Arbeit (*2.* erschien, nämlich im Spätherbst des Jahres 1903, hatte M. von Rohr (*1.*) mitgeteilt, daß er von A. Gullstrand[2]) darauf aufmerksam gemacht worden sei, wie der Augendrehpunkt bei der Konstruktion gewisser optischer Instrumente berücksichtigt werden müsse. Es handelte sich damals um die

1) Diese findet sich bereits in dem Vortrage G. Lindsay Johnsons (*1.*) vom 17. Oktober 1905 vor der Londoner Ophthalmologischen Gesellschaft.

2) Die erste vollständige Mitteilung darüber findet sich in einem an C. Zeiss gerichteten Briefe vom 3. September 1901.

Vorführung einer zum freien direkten Sehen bestimmten Lupe, der Verantlupe, die hier an sich von geringerem Interesse ist und auch nicht näher behandelt werden soll. Wenn aber die im theoretischen Teile vorgetragene Theorie der Brille überhaupt von einigem Werte ist, so liegt der Keim dazu in jener Anregung A. Gullstrands, und daher mußte diese, sonst ziemlich schwer auffindbare Mitteilung hier angeführt werden.

Es wurde dadurch die Brücke geschlagen von der in Deutschland namentlich durch E. Abbe und seine Schule zu bemerkenswerter Entwicklung gebrachten rechnenden Optik und der ganz allgemeinen Theorie, wie sie A. Gullstrand in unermüdlichem Arbeitsernst seit 1890 zu schaffen bemüht war. In diesem Lichte wird man das Verhältnis anzusehen haben, in dem A. Gullstrand zu dem Verfasser dieser Schrift steht. Wenn es allgemein menschlich ist, daß ein jeder mit seiner eigenen Arbeit einen gar wohl gewundenen Ruhmeskranz verdient zu haben glaubt, so muß hier doch deutlich festgestellt werden, daß die M. von Rohr etwa zu verdankenden Fortschritte nur auf der Basis der Gullstrandschen Anschauungen möglich waren, und daß ferner ein bestimmter Teil des theoretisch sicherlich vorhandenen Erfolges auf seine Zugehörigkeit zu der Abbeschen Schule zu schieben ist. Die Lösung der Aufgabe, eine in gewisser Hinsicht vollendete Brille zu schaffen, ist durch die auf A. Gullstrand zurückgehende Fassung des Problems außerordentlich erleichtert worden, und es ziemt sich, diesen Sachverhalt im Auge zu behalten: er wurde von M. von Rohr (*9.* 33.) auch 1908 so dargestellt, wo zum ersten Male der Hinweis darauf zu bringen war, daß die jüngsten Bestrebungen für die Verbesserung der Starbrillen auf A. Gullstrand und nicht auf F. Ostwalt als Urheber und Anreger zurückgingen.

§ 126. Noch ein anderer Punkt ist hier etwas eingehender zu besprechen, da ohne eine solche Erörterung eine gerechte Entscheidung der Prioritätsansprüche kaum möglich wäre, nämlich die Frage nach der Verwendung von nicht-sphärischen Rotationsflächen. Es geht aus der ganzen Anlage des Gullstrandschen Lehrgebäudes hervor, daß man theoretisch von solchen allgemeinen Flächen auszugehen habe, und S. Czapski hat selber anerkannt, daß A. Gullstrand ihm schon vor 1903 briefliche Mitteilungen über optische Formeln[1]) gemacht hatte, die von ihm auch für allgemeine Umdrehungsflächen gültig gemacht worden waren. Inzwischen war E. Abbe um 1899 ohne Beeinflussung durch Gullstrandsche Arbeiten

[1]) Die betreffenden Formeln für die Aberrationswerte finden sich bei A. Gullstrand (*3.*). Der Brief an S. Czapski handelte von den übrigen Formeln für den paraxialen Raum. Der wichtigste Unterschied gegenüber der Abbeschen Schule ist wohl zu erblicken in der Aufstellung von Formeln für allgemeine Flächen bei endlichen Strahleneigungen. Betreffs der Strahlenvereinigung kommt A. Gullstrand (*1.*), betreffs der übrigen Formeln (*5.*) in Betracht.

auf das Problem nicht-sphärischer Flächen gekommen. Dies bedeutete für ihn eine grundlegende Erweiterung seines ursprünglichen Arbeitsgebiets, was man auch schon aus der von ihm herrührenden Bezeichnungsweise »deformierte« oder »sphäroidische« Flächen abnehmen kann. Unter seiner Leitung wurden auch die ersten Schritte dazu getan, solche Flächen wirklich herzustellen, und der Ausfall berechtigte auch zu einiger Hoffnung. Für die Weiterführung der Versuche wurde die Berührung zwischen A. Gullstrand und M. von Rohr ebenfalls von Wichtigkeit, doch muß darauf verzichtet werden, die einzelnen Stadien dieser Arbeit zu schildern, die sich, im Spätherbst 1907 beginnend, über mehr als zwei Jahre erstreckte. Einzelheiten darüber sind nicht veröffentlicht worden. Indessen mag darauf hingewiesen werden, daß A. Gullstrand (*7. 37.*) als erster 1908 die Möglichkeit wenigstens andeutete, punktuell abbildende, aus einem Glasstücke bestehende Starbrillen mit Hilfe einer asphärischen Fläche herzustellen. M. von Rohr war es bei derselben Gelegenheit möglich, von rechnerischen Vorarbeiten zu berichten, die günstige Resultate versprächen. Diese Hoffnung konnte nach der Anstellung einer exakten photographischen Prüfung im Sommer 1909 als bestätigt gelten.

Der Anlaß dazu wurde durch die Vorträge geboten, die M. von Rohr (*9.*) und E. Hertel (*1.*) im August 1908 vor der 35. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg hielten. Es handelte sich dabei um die Vorführung einiger Formen von Starbrillen, die unter Voraussetzung achsensymmetrischer Augen den Astigmatismus längs endlich geneigten Hauptstrahlen ganz oder annähernd korrigierten. Damals wurden die Doppelbrillen (s. S. 58) und die achromatische Starbrille (s. S. 101) behandelt und durch Vorstellung eines mit ihnen ausgerüsteten Patienten die Wirkung in einem Falle vorgeführt. Zweifellos hat diese Publikation, da es sich ja nur um verhältnismäßig seltene Operationsergebnisse handelte, nur den Charakter einer vorläufigen Orientierung des in Betracht kommenden rechnenden Optikers auf einem ihm fremden Gebiete, und es blieb besonderen Aufsätzen und Vorträgen vorbehalten, die Augenärzte mit der Steigerung der Mittel vertraut zu machen, die ihnen die neue Zeit zur Verbesserung der Sehleistung ihrer Patienten bereit halten konnte.

Die soeben erwähnten beiden Konstruktionen wurden auf Grund der von M. von Rohr (*6., 7., 8.*) eingereichten Patentanmeldungen der Firma C. Zeiss ebenso geschützt wie die Herstellung von Gullstrandschen Starlinsen, bei denen durch die Anwendung einer einzigen asphärischen Fläche nicht nur der Astigmatismus schiefer Büschel beseitigt, sondern auch die Verzeichnung verringert worden war.

Das nächste Problem wurde der Jenaer Werkstätte durch E. Hertel (s. S. 30) gestellt; es handelte sich dabei um die Vergrößerung des Netzhautbildes bei stark kurzsichtigen Patienten. M. von Rohr (*12., 13.*) wandte

dafür das System der Fernrohrbrille an, worüber schon auf S. 29, 61 und 102 gehandelt worden ist. Es gelang ohne besondere Schwierigkeit, mit einem solchen, verhältnismäßig einfachen System den Astigmatismus schiefer Büschel, die Verzeichnung und die chromatische Vergrößerungsdifferenz für ein endliches Blickfeld zu heben.

Die letzte aus der Jenaer Werkstätte stammende brillentheoretische Arbeit wurde von M. von Rohr (*14.*) 1910 veröffentlicht; es handelte sich dabei um das Beispiel einer Gullstrandschen Brille für ein mit starkem (6 dptr übersteigendem) postoperativem Astigmatismus behaftetes Auge. In der oben eingeführten Bezeichnungsweise handelte es sich dabei um eine asphäro-torische Brille. Die Ausführung dieser wie anderer schwieriger Konstruktionsformen lag in den Händen von O. Henker.

§ 127. Hiermit mag der Überblick über die Entwicklung der Brille in den letzten beiden Jahrhunderten seinen Abschluß finden. Wenn es dem Verfasser gelungen ist, die Darstellung so zu gestalten, wie er es beabsichtigte, so hat man eingesehen, daß die Entwicklung der Korrektionsbedingungen einen weiten Weg zurückzulegen hatte, bis sie von dem Ahnungsvermögen der großen englischen Theoretiker und dem Tatonnement namentlich englischer und französischer Optiker seit dem Anfange des letzten Jahrhunderts zu dem gedeihlichen Zusammenwirken der Theorie und der technischen Praxis kam, das notwendig ist, wenn die letzten Forderungen erfüllt werden sollen. Daß das möglich wurde, ist in erster Linie das Verdienst A. Gullstrands, dem hier ein größerer Anteil an dem Ergebnis zuerkannt werden muß, als das meistens bei den Resultaten gemeinsamer Arbeit einem einzelnen Teilnehmer gegenüber geschehen kann. Durch eine sorgfältige und trotz mannigfacher partieller Vorgängerschaften (beispielsweise der von J. J. Oppel und R. H. Bow) eben früher nicht geglückte Würdigung der physiologischen Eigentümlichkeiten der Augenbewegung gelangte er dazu, für den Optiker das Auge als ein System hinzustellen, das in das anscheinend ganz allgemeine System E. Abbes nicht hineinpaßte, und auf Grund seines vollständigen Systems der geometrischen Optik konnte er ferner die Grundregeln angeben, nach denen die Berechnung anzusetzen sei, wenn man ein möglichst vollkommenes Instrument für das freie, direkte Sehen schaffen wolle. Damit aber hat er die Schranke weggeräumt, die bis dahin die an anderen optischen Instrumenten geschulten Theoretiker namentlich deutscher Werkstätten von der Beschäftigung mit der Brille abgehalten hatte. Nunmehr war es im wesentlichen eine Frage der Zeit, wann sich ein solcher rechnender Optiker die Arbeiten A. Gullstrands zunutze machen würde.

Systematischer Teil.

Vorbemerkungen.

Die Verwertung des Materials, das in dem vorangegangenen historischen Teil zusammengetragen worden ist, wird durch die folgende systematische Anordnung sicherlich erleichtert. Sie enthält übrigens keine andern Gesichtspunkte, als sich im Laufe der vorher geschilderten Entwicklung ergeben haben, und erhebt durchaus nicht den Anspruch, etwa ein ganz allgemein ausreichendes Schema zu bieten.

Im Vorstehenden ist bereits an manchen Stellen auf die Grundsätze aufmerksam gemacht worden, nach denen eine solche Einteilung vorgenommen werden könnte, doch mag hier noch besonders auf einzelne Punkte hingewiesen werden.

Wenn das einäugige und das beidäugige Sehen zur Unterscheidung herangezogen wurde, so geschah das nur in der Absicht, zu kurzen Überschriften zu gelangen: gemeint war die Trennung der Eigenschaften der Brille in solche, die schon beim Gebrauch des einzelnen Brillenglases hervortreten, und in solche, die erst bei beidäugigem Gebrauch merkbar werden.

Die nächsten Gesichtspunkte werden von selbst verständlich sein, doch kann vielleicht darauf hingewiesen werden, daß zwischen den Randteilen und den hauptsächlichsten Grenzflächen der Brille zu unterscheiden ist. Während diese immer optisch bearbeitet sein müssen, ist das für die Randflächen, soweit die optische Wirkung der Brille in Betracht kommt, nicht nötig. Wenn gegenwärtig in manchen Fällen der zu einer Trägerschicht ausgebildete Rand optisch bearbeitet ist, so geschieht das im wesentlichen mit Rücksicht auf die Schönheit des Aussehens.

Es ist auf den Einfluß der Gullstrandschen Anschauungen zu schieben, daß bei den Brillen für achsensymmetrische Augen auch die nur zweifach symmetrischen Systeme Platz gefunden haben. Und für die Behandlung der astigmatischen Brillen gilt entsprechendes. Die Formulierung des Problems, es solle durch die ruhende Brille und das bewegte System des Auges auf der Netzhautgrube eine punktuelle Abbildung erzielt werden, hat zweifellos die Erkenntnis des in der astigmatischen Brille vorliegenden Problems wesentlich gefördert.

In der vollständigen Berücksichtigung des Augendrehpunkts für die schiefen Büschel liegt ja überhaupt der gewaltige Anstoß, den A. Gullstrand für die Verbesserung der Brille im allgemeinen gegeben hat. Allerdings darf nicht verkannt werden, daß in den einfachen Fällen der anastigmatischen achsensymmetrischen Brillen bedeutende Empiriker in dunklem Gefühl sowie F. Ostwalt und M. Tscherning in mehr oder minder deutlicher Erkenntnis ihre Konstruktionen auf dem Grunde des Augendrehpunkts aufgebaut haben.

Daß nebenbei im Fach 6 auf die Dioptrienfrage hingewiesen und im Fach 22 die Ansichten über die Porrhallaxie des Raumbildes wenigstens gestreift wurden, wird man nicht mißbilligen, obwohl das letzte Thema beinahe aus dem Rahmen des hier behandelten herausfällt, da es sich um die Kritik des von der Brille gelieferten Raumbildes handelt.

Was das Material anlangt, so ist nur das in dieser Darstellung verwandte berücksichtigt worden, und zwar bestand bei seiner Auswahl die Absicht, nur solche Mitteilungen zu bringen, die neues enthielten. Selbstverständlich ist hier das subjektive Ermessen nicht völlig auszuschließen, und es wäre nicht verwunderlich, wenn einige Leser an dieser Wahl Kritik übten. Man muß der Zeit die Entscheidung darüber überlassen, ob für eine möglichst vollständige Aufführung der Literatur über die Brille Interesse genug vorhanden ist. Immerhin werden hier manche Angaben ganz neu und manche wesentlich gesicherter zu finden sein.

Das Schema der Einteilung ist mit Absicht an den Schluß eingeklebt worden. Es ist herauszuziehen und dient dann gleichzeitig als Index für die mit Ziffern bezeichneten kleinsten Fächer. Diese finden sich auf den hier unmittelbar folgenden Seiten 154—158. Vor dem Titel eines jeden Faches findet sich die arabische Ziffer, durch die es in dem Hauptschema vertreten ist. Die Zahlen hinter jeder historischen Notiz oder Anführung geben die Seiten in dem theoretischen oder dem historischen Teil an.

Systematische Anordnung.

(Das Einteilungsschema am Schluß ist herauszuziehen.)

1. Schutzbrillen.

Gegen mechanische Einwirkungen.

Vor 1904 E. Oppenheimer: Näheres unbekannt. 3.

Gegen Strahlung (meistens farbige Brillen).

Färbung im ganzen.

1716 Chr. G. Hertel: Grünes Glas. 115.

1752 J. Ayscough: Grünliches Glas. 115.

Färbung einer Schicht.

Vor 1841 Ch. Chevalier: Aufgekittete farbige Glasschicht von N. J. Lerebours. 126.

1868 W. Pugh & J. Field, Färbung der Trägerschicht. 131.

1869 E. Fl. Courvoisier: Färbung der Kittschicht. 131.

1876 Ch. Alt: Im oberen Teil des Glases aufgeschmolzene Farbschicht. 133.

1877 J. Fr. Alt: Farbiges Überfangglas. 133.

Undurchlässige Schicht.

1839 Ch. H. L. Jachau: Mattierter Rand. 125.

1875 Fr. Yeiser: Schattenschilde. 133.

2. Rück- und Seitenblickbrillen.

Vor 1826 näheres unbekannt.

1826 A. Allard de la Cour. 123.

3. Loch- und Schießbrillen.

Stenopäische Brillen.

Vor 1866 F. C. Donders: Näheres unbekannt. 134.

1886 P. H. Miller: Lochgruppen. 135.

1895 Fr. Heilborn: Lochbrille. 135.

Schiessbrillen (Orthoptics).

Vor 1885 in England: Näheres unbekannt. 134.

1885 Ch. Slotterbeck: Verbindung mit einer Fernbrille. 134.

4. Brillen aus besonderem Material.

Aus Quarz.

1863 A. Chevalier. 131.

Aus Bernstein.

1832 G. & E. Solomons. 124.

Aus Zelluloid.

1893 R. Hansel. 135.

Aus optischem Glase.

1752 J. Ayscough. 115.

1840 G. Hudson. 125.

Aus schwerem Kronglase.

1896 . . Reverard: Isometropgläser. 138.

5. Die Größe der Brillengläser.

Brillen mit besonders kleinen oder besonders geformten Gläsern.

1783 W. Storer: Alte Gläsermaße. 116.

Vor 1824 W. Kitchiner: Alte Gläsermaße. 122.

1840 G. Hudson: Alte Gläsermaße. 125.

1904 E. Pergens: Amerikanische Kalibermaße. 5.

1902 E. Ribard: Streifenförmige Gläser. 139.

Brillen mit besonders gestaltetem Rande.

1758 B. Martin: Visual spectacles. 120.

Vor 1809 G. J. Beer: Leipziger Röhrenbrillen. 120.

1839 Ch. H. L. Jachau: Mattierter Rand. 125.

1895 H. Bluhm: Wiederaufnahme der visual spectacles. 135.

1866 W. Pugh & J. Field: Ausbildung der Trägerschicht. 131.

1869 E. Fl. Courvoisier: Ausbildung der Trägerschicht an einem Gliede einer achromatisierten Kombination. 131.

1896 F. Nitschmann: Ausbildung der Trägerschicht. 138.

1897 J. L. Borsch jr.: Ausbildung der Trägerschicht. 140.

1907 M. Bentzon: Durch Schleifen hergestellte Trägerschicht einer Starlinse. 138.

1908 F. Klein: Trägerschicht an Zerstreuungsgläsern. 138.

1896 H. Hart: Richtige Randgestaltung. 135.

1879 G. Rodenstock: Randnute. 134.

6. Gewöhnliche gleichseitige Linsen.

1716 Ch. G. Hertel: Abstufung nach dem Radius der Schleifschale. 114.

Vor 1824 W. Kitchiner: Abstufung nach dem Radius der Schleifschale in Zollen. 122.

1840 G. Hudson: Abstufung nach dem Radius der Schleifschale in Zollen. 125.

1863 A. Chevalier: Abstufung nach dem Radius der Schleifschale in Zollen. 131.

1867 A. Nagel: Vorschlag der Meterlinse. 132.

1872 F. Monoyer: Einführung der Dioptrie. 132.

1875 F. C. Donders: Befürwortung beider Vorschläge. 132.

1899 A. Gullstrand: Erweiterung der Definition der Dioptrie. 25.

7. Punktuell abbildende achsensymmetrische Brillen.

Lupenbrillen.

1907 A. Gullstrand: Aufstellung der Forderung. 151.

1910 M. von Rohr: Feststellung der Konstruktionsdaten. 43.

Presbyopenbrillen.

1716 Ch. G. Hertel: Sammelnder Meniskus für Presbyopen. 114.

1898 F. Ostwalt: Andeutung einer Methode der trigonometrischen Berechnung. 144.

1904 M. Tscherning: Behandlung des Problems mit Vorrechnungsformeln. 147.

Fernbrillen.

Minderung oder Hebung des Astigmatismus schiefer Büschel.

1716 Ch. G. Hertel: Zerstreuender Meniskus in unrichtiger Stellung für Myopen. 114.

1804 W. Wollaston: Periskopische Linsen. 118.

1814 R. A. Cauchoix: Versuche zur Ermittlung der besten Form. 119.

Vor 1834 J. Fr. Voigtländer: Übernahme der Wollastonschen Formen. 119.

1841 Ch. Chevalier: Übernahme der Formen von R. A. Cauchoix. 126.

1898 F. Ostwalt: Vorläufige und erste ausführliche Behandlung der auf Grund tri-

gonometrischer Durchrechnung erhaltenen Resultate; Feststellung der Doppellösigkeit der Aufgabe. 143.

1899 F. Ostwalt: Photographische Prüfung. 145.

M. Tscherning: Kritik der Ostwaltschen Ansichten. 145.

1900 F. Ostwalt: Berichtigende Arbeit. 146.

1901 A. S. Percival: Trigonometrische Rechnungen. 147.

1903 A. S. Percival: Berichtigende Arbeit. 147.

M. von Rohr: Veröffentlichung der Gullstrandschen Bedingung. 149.

1904 M. Tscherning: Behandlung des Ostwaltschen Problems mit Vorrechnungsformeln. 147.

1907 M. Tscherning: Wiederholung. 149.

1866 .. Plagniol & .. Maire: Perisko-hyperbolische Linsen. 131.

1899 E. Abbe: Verwendung asphärischer Flächen. 151.

1900 A. Gullstrand: Einführung asphärischer Flächen in die allgemeine Theorie. 150.

1908 A. Gullstrand: Problemstellung für punktuell abbildende Starbrillen. 60. 151.

Hebung der Verzeichnung allein.

1904 M. Tscherning: Verzeichnungsfreie Brillengläser. 148.

Gleichzeitige Hebung zweier Fehler schiefer Büschel.

1909 M. von Rohr: Beschreibung einer Gullstrandschen Starlinse. 61.

8. Anastigmatische, zweifach symmetrische Gläser.

Gekreuzte Zylinderflächen.

Vor 1904 E. Oppenheimer: Derartige Lesegläser; näheres unbekannt. 68.

Toro-torische Linsen.

1910 H. Boegehold: Berechnung eines korrigierenden Glases von — 5 dptr für achsensymmetrische Augen. 14.

9. Gewöhnliche astigmatische Linsen.

Ohne nähere Angaben.

1813 P. Galland & M. N. J. Chamblant: Patent auf Zylinderlinsen. 119.

Vor 1848 .. Goode: Bestätigung der Verwendung solcher Linsen durch sie. 121.

Sphäro-zylindrische Linsen.

1825 G. B. Airy: Läßt eine solche Linse durch .. Fuller ausführen. 121.

Sphäro-torische Linsen.

1840—1844 E. Javal: Ausführung einer solchen Linse durch .. Suscipi. 126.

Geneigte sphärische Linsen.

Vor 1800 Th. Young: Methode von W. Cary. 118.

10. Sphäro-torische Gläser zur punktuellen Abbildung auf der bewegten Netzhaut.

1909 M. von Rohr: Feststellung der Konstruktionsdaten. 84.

11. Astigmatische Gläser mit zwei zweifach symmetrischen Flächen.

Gekreuzte Zylinderlinsen.

Vor 1825 G. B. Airy: Bestätigung für P. Galland & M. N. J. Chamblant. 121.

Toro-torische Gläser für punktuelle Abbildung auf der bewegten Netzhaut.

1909 M. von Rohr: Feststellung von Konstruktionsdaten. 84.

12. Alte Fernrohrbrillen.

1785 H. Dixon: Auch Systeme aus einem Konvex- und einem Konkavspiegel. 117.

Vor 1824 W. Kitchiner: Erwähnung mehrerer Fälle von Fernrohrbrillen. 122.

1835 G. Schönstädt: Dicke Fernrohrbrillen. 124.

13. Punktuell abbildende Doppelgläser.

Doppelgläser für Aphakische.

1897 .. Parent: Spricht die Forderung aus. 140.

1908 M. von Rohr: Führt solche Konstruktionen vor. 151.

1908 E. Hertel: Vorstellung eines damit ausgerüsteten Patienten. 151.

Neue Fernrohrbrillen mit punktueller Abbildung.

1910 M. von Rohr: Theorie der auf eine Anregung von E. Hertel berechneten Systeme. 151.

14. Alte Vorhängegläser.

1783 A. Smith: Doppelgläser. 115.
Vor 1824 W. Kitchiner: Bericht über solche Konstruktionen. 122.
1854 .. van Minden: Klappt die Lesegläser vor. 129.
1861 J. Braham: Vorhängegläser mit horizontaler Feder. 129.
1886 J. Day & W. Cartwright: Doppelte Fernbrillen. 135.
1894 A. Bourgeois: Doppelte Fernbrillen für Aphakische. 135.
1894 J. Galezowski: Verteidigung der älteren Form. 135.
1896 A. Bourgeois: Doppelte Fernbrillen für Träger von Brillen großer Brechkraft im allgemeinen. 135.

15. Neue Vorhängegläser mit punktueller Abbildung.

1910 E. Hertel: Beschreibung der von M. von Rohr für die Fernrohrbrillen berechneten Vorhängegläser. 30. 62.

16. Alte Doppelfokusgläser aus einer Glasart.

Mechanisch zusammengehalten.

1784 B. Franklin. 116.
1813 D. Brewster: Ausgebohrte Doppelfokuslinsen. 121.
Vor 1824 W. Kitchiner: Berichtet über Doppelfokusgläser. 122.
1908 W. Kight: Doppelfokusglas. 139.

Durch Verkittung zusammengehalten.

1808 .. Biette: Woher importiert er sie? 119.
1813 D. Brewster. 121.

Durch Anschliff erzielt.

1716 Chr. G. Hertel: Zonenlinse. 114.
1836 I. Schnaitmann: Doppelfokusglas. 124.
1879 J. R. Rowell: Zonenlinse als Leseglas. 134.
1877 I. Doten: Dreht das Doppelfokusglas um eine horizontale Achse. 133.
1884 F. K. Roberts: Verbesserung dieses Vorschlages. 134.

Durch Biegung und Anschliff erzielt.

1849 D. Hotchkiss & B. R. Norton: Doppelfokusglas. 127.

17. Den Astigmatismus schiefer Büschel vermindernde oder punktuell abbildende Doppelfokusgläser aus einer Glasart.

Mechanisch zusammengehalten.

1834 G. R. Elkington: Pantascopic spectacles. 124.
1850 .. Bernard: Scharnierbrille. 128.

Durch Verkittung zusammengehalten.

1852 Th. Pr. Moussier & .. Boulland; 127. siehe auch Nr. 19.

Durch Anschliff erzielt.

1852 Th. Pr. Moussier & .. Boulland. 128.
Vor 1866 F. C. Donders: Pariser Menisken. 128.
1898 W. E. Debenham: Doppelfokusgläser auch durch Anwendung von Hitze erhalten. 142.
1908 E. Busch: Legt Wert auf einen sprungfreien Übergang vom Fern- zum Naheteil. 142.
1908 M. Bentzon: Meniskenförmige Uni-Bifo-Gläser. 142.

18. Alte Doppelfokusgläser aus zwei Glasarten.

Durch Verkittung zusammengehalten.

1813 D. Brewster: Benutzt Kittarten von verschiedenem Brechungsvermögen. 121.
1899 J. L. Borsch: Angekittete Linsen. 139.
J. L. Borsch: Eingekittete Linsen. 139.
1905 L. Bell: Einführung einer Kittschicht. 139.
1907 J. Aitchison: Einführung einer Kittlinse. 140.
H. C. Joerden: Aussparung an der Innenlinse. 140.

Zusammengeschmolzen.

Vor 1897 L. de Wecker: Amerikanische Bestrebungen, die Teile der Doppelfokuslinse zusammenzuschmelzen. 140.
1904 J. L. Borsch jr.: Schmelzverfahren. 141.
1906 Ch. N. Brown: Formung der einzuschmelzenden Flintlinse. 141.
1907 C. F. Dieckmann: Schmelzverfahren. 141.
J. R. Schwinzer: Anwendung einer Gebläseflamme. 141.

1907 J. Wimmer: Vereinigung der beiden Teile durch einen leicht schmelzbaren Glasfluß. 141.

W. I. Seymour: Verfahren mit der Glasbläserpfeife. 141.

W. Bausch: Einpressung der Kronlinse in das erweichte Flintstück. 141.

19. Doppelfokusgläser aus zwei Glasarten mit vermindertem Astigmatismus der schiefen Büschel.

1852 Th. Pr. Moussier & . . Boulland: Aus zwei (?) Glasarten zusammengekittete Menisken; 128. Siehe auch Nr. 17.

20. Achromatische Brillen.

Achromasie der Schnittweiten.

Vor 1841 Ch. Chevalier: . . Watkins & . . Smith. 126.

1869 E. Fl. Courvoisier. 131.

1870 E. Derogy. 132.

1871 E. Derogy. 132.

1877 E. Derogy. 132.

1881 N. Lazarus: Zusammengeschmolzene Achromate. 134.

1909 E. Busch: Verminderung der Farbenfehler in Doppelfokusgläsern. 141.

Achromasie der Hauptstrahlneigung.

1907 A. Gullstrand: Aufstellung des Problems. 99.

1908 M. von Rohr: Punktuell abbildende Starbrille. 58.

1910 M. von Rohr: Punktuell abbildende Fernrohrbrille. 30. 62. 151.

21. Hilfsgläser für Farbenblinde.

1891 Fr. von Kamptz. 135.

22. Zum beidäugigen Sehen durch große Linsen und durch Brillen.

1792 W. Ch. Wells. 117.

1862 . . Duvaldestin. 129.

1889 P. J. Edmunds. 135.

1855 Th. Pr. Moussier & . . Boulland: Nähern die Zentren der unteren Teile in Doppelfokusgläsern. 128.

1906 S. Slagle: Nähert ebenfalls die Zentren der Naheteile. 140.

1908 M. Bentzon: Doppelzentrikgläser. 142.

Vor 1864 F. C. Donders: Über die Raumwiedergabe durch die Brille. 129.

1865 R. H. Bow: Behandelt die Brille als stereoskopisches Instrument. 130.

1866 H. Helmholtz: Behandlung der Brille als Instrument für beide Augen. 130.

1904 M. von Rohr: Einführung des Begriffs der Porrhallaxie. 107.

23. Lochbrillen für Schielende.

1797 D. Adams. 117.

1845 A. A. Plagniol. 127.

1855 A. A. Plagniol. 127.

24. Alte prismatische Brillen.

1844 E. Pergens: Führt die prismatischen Brillen auf diese Zeit und auf Ch. Chevalier zurück. 127.

Vor 1847 F. C. Donders: Führt die prismatischen Brillen auf W. Krecke zurück. 127.

25. Punktuell abbildende prismatische Brillen.

1909 M. von Rohr: Feststellung der Konstruktionsdaten. 75.

Literaturverzeichnis.

Die Titel wurden unter möglichster Bewahrung der Schreibart der Autoren übernommen; fremdländische aber ohne Großschreibung der Substantiva. Sie sind gesperrt gedruckt, wenn sie nicht an der ursprünglichen Stelle gebildet worden waren.

Die halbfette eingeklammerte Ordnungszahl dient als Hinweis bei den Zitaten. Unmittelbar hinter dem Titel oder der sachlichen Notiz findet sich die Zahl der betreffenden Seite.

Die Quellen sind so exakt angegeben, wie es sich in Jena ermöglichen ließ, wo dem Autor keine große Bibliothek zur Verfügung stand.

Abbe, E., Aufführung der Glasarten nach dem ν-Wert 96, Ausführung nicht-sphärischer Flächen 150/151, sein System der optischen Instrumente. 152.

Abbesche Schule, ihr Studium des Projektionsvorganges 103, Beziehungen zu A. Gullstrand bei ihrer Behandlung des Brillenproblems. 150.

Adams, D. (*1.*), Certain spectacles upon an entire new principle. 117, 127. E. P. 2155 vom 23. I. 1797.

Adams, G. (*1.*), An essay on vision, briefly explaining the fabric of the eye, and the nature of vision: intended for the service of those whose eyes are weak or impaired: enabling them to form an accurate idea of the true state of their sight, the means of preserving it, together with proper rules for ascertaining when spectacles are necessary, and how to choose them without injuring the sight. 115. London, im Selbstverlag. 1789. VI, 153 S. kl. 8° mit 1 Tafel.

Adams, G., Einfluß auf W. Kitchiner. 120, 122.

Airy, G. B. (*1.*), On a peculiar defect in the eye and mode of correcting it. (1825.) 121. Camb. Phil. Trans. 1827. **2.** 267—273. Edinb. Journ. Sc. 1827. **7.** 322—325.

Aitchison, J. (*1.*), Improvements relating to bifocal lenses. 140. E. P. 14169/07 appl. 19. VI. 1907; acc. 12. IX. 1907.

Allard de la Court, A. (*1.*), A new instrument and improvements in certain wellknown instruments applicable to the organ of sight. 123. E. P. 5359 vom 6. V. 1826.

Alt, Ch. (*1.*), Improvements in optical lenses. 133. U. S. P. 183443 vom 17. X. 1876; appl. fil. 9. V. 1876.

Alt, J. Fr. (*1.*), Optische Gläser mit farbigen Streifen zur Abhaltung grellen Lichtes. 133. D. R. P. 293 vom 27. VII. 1877.

Arnold, J. A. Fr. (*1.*), Die neueren Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der optischen Instrumente. 119. Quedlinburg und Leipzig, G. Basse, 1833. 8° 232 S. mit 4 Tafeln. S. namentlich Joh. Friedr. Voigtländers Verfertigung der periskopischen Gläser. 136—137.

Ayscough, J. (*1.*), A short account of the eye and nature of vision. Chiefly designed to illustrate the use and advantage of spectacles. Wherein is laid down rules for chosing glasses proper for remedying all the different defects of sight. As also some reasons for preferring a particular kind of glass, fitter than any other made use of for that purpose. (The second edition.) 115. London, A. Strahan, 1752. 26 S. kl. 8° mit 1 Kupfertafel.

Bausch, W. (*1.*), Method of making bifocal lenses. 141. U. S. P. 930826 vom 10. VIII. 1909; appl. fil. 6. IX. 1907.

Beer, G. J. (*1.*), Das Auge, oder Versuch, das edelste Geschenk der Schöpfung vor dem höchst verderblichen Einfluß unseres Zeitalters zu sichern. 119, 120. Wien, Camesinasche Buchh. 1813. VIII, 158 S. 8° mit 4 Kupfertafeln.

Beer, G. J., seine Stellung als Berichterstatter. 119, 120, 125.
Bell, L. (*1.*), Bifocal lens. 139. U. S. P. 805438 vom 28. XI. 1905; appl. fil. 16. VI. 1905.
Benoist, F., L. Berthier & Cie. fertigen Tscherningsche Brillengläser an. 149.
Bentzon, M. (*1.*) und A. H. Emerson, Verfahren und Vorrichtung zum Schleifen von Kugelflächen mittels hohler, nur mit einer ringförmigen Randfläche schleifender Werkzeuge. 142. D. R. P. 188491 vom 24. XII. 1905; ausgegeben 9. VIII. 1907.
Bentzon, M. (*2.*), Starlinse aus einem einzigen Glasstück, deren starke Kurve in der Mitte einer dünnen Linse ausgeschliffen ist. 138. D. R. G. M. 324298/Kl. 42 h, eing. 7. X. 1907; eingetr. 30. XI. 1907.
Bernard, . . (*1.*), Bésicles à la Francklin. 127. Brev. d'inv. 10265, ang. 17. VIII. 1850 vom 1. X. 1850. Descr. (2.) **17.** 313—314.
Berthiot, L., s. unter Benoist, F.
Beschreibung der Erfindungen und Verbesserungen, für welche in den kaiserlich-königlichen österreichischen Staaten Patente ertheilt wurden, und deren Privilegiumsdauer nun erloschen ist. Hrsg. auf Anordnung der kaiserl. königl. allgemeinen Hofkammer. Bde. 1—3. 1821—43. Wien. 4°.
Biette, . . (*1.*), Lunettes au moyen desquelles on peut lire à double portée. 119. Br. d'importat. vom 20. V. 1808. Descr. (1.) **4.** 243. Die Erteilungsnummer war nicht zu ermitteln; das Patent hat Nr. 299 in der ersten Reihe der veröffentlichten Patente. v. R.
Biot, J. B. (*1.*), Précis élémentaire de physique expérimentale (troisième édition) 126. Paris, Deterville, 1824. 2 Bd. 8°. S. Bd. 2. 355—356.
Bjerke, K. (*1.*), Über die Veränderung der Refraktion und Sehschärfe nach Entfernung der Linse. 17. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1902. **53.** 511—550 (ausgeg. 7. III.); 1903. **55.** 191—221 (ausgeg. 20. I.).
Bjerke, K. (*2.*), Über die Veränderung der Sehschärfe nach Linsenentfernung. Mit 1 Textfig. 17. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1903. **56.** 292—296 (ausgeg. 23. VI.).
Bluhm, H. (*1.*), Durchsichtsgläser mit umgeschmolzenem, farbigem Rande. 135. D. R. P. 87194 vom 23. V. 1895; ausgeg. 20. VI. 1896.
Bock, E. (*1.*), Die Brille und ihre Geschichte. 114. Wien, J. Safar, 1903. 62 S. gr. 8° mit Titelbild und 32 Textfig.
Boegehold, H., Berechnung einer punktuell abbildenden, nur zweifach symmetrischen Brille. 94.
Borsch, J. L. (*1.*), Bifocal lens. 139. U. S. P. 625535 vom 23. V. 1899; appl. fil. 25. II. 1899. Die Erfindung ist auch durch ein englisches Patent geschützt. v. R.
Borsch, J. L. (*2.*), Bifocal lens. 139. U. S. P. 637444 vom 21. XI. 1899; appl. fil. 18. III. 1899.
Borsch, jr. J. L. (*1.*), Centrage des lunettes et pince-nez. 140. (6. V. 1897). Bull. et Mém. Soc. Franç. d'Ophtalm. 1897. **15.** 337—349; Diskuss. 349—352.
Borsch jr. J. L. (*2.*), Bifocal lens. 141. U. S. P. 876933 vom 21. I. 1908; appl. fil. 23. I. 1904. Die gleiche Erfindung ist auch durch ein englisches, französisches, schweizer Patent geschützt. v. R.
Boulland, . . S. unter Moussier, Th. Pr. et . . Boulland.
Bourgeois, A. (*1.*), Lunettes pour opérés de cataracte. 135. Rec. d'ophtalm. 1894. (3) **16.** 396—399.
Bourgeois, A. (*2.*), Lunettes à verres superposés pour myopes et pour hypermétropes. 135. Rec. d'ophtalm. 1896. (3) **18.** 477—482.
Bow, R. H. (*1.*), The stereoscope. 130. The Brit. Journ. of Phot. 1865. **11.** Nr. 248. 54—55; Nr. 252. 111—112; Nr. 257. 174—175; Nr. 263. 260—261; Nr. 266. 299—300; Nr. 267. 315—316.
Bow, R. H., Bestimmung des bei der Brille zulässigen Höhenfehlers. 130. Ansatz zur Würdigung des Augendrehpunkts. 152.
Braham, J. (*1.*), Improvements in spectacles and hand frames. 129. E. P. 389/61 vom 16. II. 1861; compl. spec. 16. VIII. 1861.

Brewster, D. (*1.*), A treatise on new philosophical instruments, for various purposes in the arts and sciences. With experiments on light and colours. 121. Edinburgh, J. Murray & W. Blackwood, 1813. XX, 427 S. gr. 8° mit 12 Tafeln.

von Briesen, Fr., Auffindung der Brewsterschen Arbeit. 121.

Brown, Ch. N. (*1.*), Improvements in and relating to the manufacture of composite lenses. 141. E. P. 3403/06 vom 12. II. 1906; acc. 10. V. 1906.

Burmester, L. (*1.*), Homocentrische Brechung des Lichtes durch das Prisma. 72. Schlömilchs Zft. Math. Phys. 1895. **40.** 65—90.

Burnettsche Einführung der Prismendioptrie (prdptr). 70.

Busch, E. Akt. Ges. Optische Industrie Rathenow (*1.*), Aus einem Stück bestehendes Doppelfokusglas periskopischer Form zwecks besserer Zentrierung des Naheteils. 142. D. R. G. M. 332699/Kl. 42 h, einger. 14. XI. 1907; eingetr. 23. III. 1908.

Busch, E., Akt. Ges. Optische Industrie Rathenow (*2.*), Doppelfokusglas aus einem Stück mit angeschliffenem Fern- oder Naheteil. 142. D. R. P. 205868 vom 31. I. 1908; ausgeg. 18. I. 1909.

Busch, E., Akt. Ges. Optische Industrie Rathenow (*3.*), Bifokalglas, bei dem das Hauptglas (Fernteil) aus Glas von niedrigerem n_D als 1. 51 besteht. 141. D. R. G. M. 372992/Kl. 42 h, einger. 17. III. 1909, eingetr. 7. IV. 1909; bek. gem. 19. IV. 1909.

Cartwright, W. s. unter J. Day (*1.*), and W. Cartwright.

Cary, W., Beobachtung über die Schiefstellung von Brillen. 118.

Cassegrainscher Reflektor. 117.

Cauchoix, R. A. (*1.*), Instruction sur les lunettes périscopiques, inventées en Angleterre par M. Wollaston. 119. Journ. de Phys. 1814. **78.** 305—310. An dieser Stelle ist der Name fälschlich als Cauchois angegeben. v. R.

Cauchoix, R. A., seine Anfertigung von Menisken 119, Beeinflussung durch J. B. Biot. 126.

Chamblant, M. N. J. s. unter P. Galland (*1.*), et M. N. J. Chamblant.

Chamblantsche Gläser 68, — Zylinderlinsen, ihr Auftreten 119/120; spätere Nachrichten darüber 121, Einwirkung auf I. Schnaitmann 125, allmähliches Verschwinden. 126.

Chevalier, A. (*1.*), L'art de l'opticien et ses rapports avec la construction et l'application des lunettes. 130. Paris, im Selbstverlage und bei Adr. Delahaye, 1863. 28 S. 8° mit 15 Fig.

Chevalier, A., Stellung zu Quarzlinsen, Abstufung der Brillennummern, sorgfältige Brillenanpassung. 131.

Chevalier, Ch. (*1.*), Manuel des myopes et de presbytes contenant des recherches historiques sur l'origine des lunettes ou besicles; les moyens de conserver et d'améliorer la vue, et un chapitre spécialement consacré aux lorgnettes de spectacle. 125. Paris, im Selbstverlage und bei Baillière, 1841, 112 S. 8° mit 1 Tfl.

Chevalier, Ch., Berichte über etwa gleichzeitige Kollegen 116, 125, frühe Anpassung prismatischer Brillen. 127.

Coddington-Petzvalsches Gesetz 44, 47, 51.

Courvoisier, E. Fl. (*1.*), Lunettes et pince-nez achromatiques systeme Courvoisier et procédés pour obtenir la coloration des verres dans le collage. 131, 140. Brev. d'inv. 83547 vom 12. XII. 1868. Cert. d'addit. vom 6. III. 1869. Beide Schriften lagen nur in einer Abschrift vor. v. R.

Culmann, P. (*1.*), Die Realisierung der optischen Abbildung. 54. S. unter von Rohr, M. (**2.**) 124—207.

Czapski, S. (*1.*), Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. 2. Aufl. unter Mitwirkung des Verfassers und mit Beiträgen von M. von Rohr, herausgeg. von O. Eppenstein. Leipzig, J. A. Barth. 1904. XVI, 480 S. gr. 8° mit 176 Textfig., auch A. Winkelmanns Handbuch der Physik. Bd. **6.**

Czapski, S., Brief von A. Gullstrand über nicht-sphärische Umdrehungsflächen 150.
Czapskische Darstellung von F. Ostwalt benutzt. 143.
Day, J. (*1.*), and W. Cartwright, Improvements in spectacles having double glasses or lenses adjustable to either long or short distance vision. 135. E. P. 16464/86 vom 15. XII. 1886; compl. spec. 18. X. 1887.
Debenham, W. E. (*1.*), Improvements in lenses for bifocal spectacles. 142. E. P. 25110/98 vom 29. XI. 1898 prov. spec.; 26. VIII. 1899 compl. spec.; acc. 29. IX. 1899.
Dennettsche Einführung des Centradians (ctrd). 70.
Derogy, E. E. (*1.*), L'application des verres achromatiques aux lunettes, lorgnons, face à mains, binocles, pince-nez etc. 132. Brev. d'inv. 88720, ang. 28. I. 1870. Cert. d'add. vom 8. VI. 1870. Descr. (2). **114.** 11. Nur den Titel. Der Inhalt dieser Schriften ist einer Abschrift entnommen worden. S. aber —, — Improvements in spectacles, eyeglasses, and like articles. E. P. 1694/70 vom 13. VI. 1870.
Derogy, E. E. (*2.*), Improvements in spectacles, eye-glasses, and other similar articles. 132. E. P. 1852/71 vom 14. VII. 1871. seal. 22. XII. 1871, compl. spec. 11. I. 1872.
Derogy, E. E. (*3.*), Perfectionnements aux lunettes, lorgnons, faces à main, binocles, pince-nez, etc., établis en verres achromatiques. 132. Brev. d'inv. 116754 vom 30. I. 1877. Descr. (3) **23.** 92. (Nur Titel). Der Inhalt der Schrift ist einer Abschrift entnommen worden. v. R.
Descr, Abkürzung für: Descriptions des machines et procédés etc. Anfang des Titels der verschiedenen Serien der französischen Patentsammlung.
Dieckmann, C. F. (*1.*), Method of making bifocal lenses. 141. U. S. P. 865363 vom 10. IX. 1907; appl. fil. 2. VII. 1907.
Dixon, H. (*1.*), Certain considerable improvements in the construction of telescopes, microscopes, spectacles, and all other instruments of vision, either by reflection alone or compounded of refraction and reflection, whereby the field of view is greatly extended, and the objects rendered much more distinct than at present. 117. E. P. 1515 vom 14. XII. 1785.
Dollondsche Firma führt Menisken aus. 118.
Donders, F. C. (*1.*), Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Deutsche Originalausgabe unter Mitwirkung des Verfassers, herausg. von O. Becker. 19, 121, 127, 128, 129. Wien, W. Braumüller, 1866. XII, 544 S. 8° mit 193 Textfig. und 1 Tafel.
Donders, F. C. (*2.*), Ueber das Metermaass mit Bezug auf Numerirung der Brillengläser und Bezeichnung der verschiedenen Grade der Ametropie. 132. (Ophth. Ges. 16. IX. 75.) Klin. Monatsbl. 1875. **13.** 465—477.
Donders, C. F., Äußerungen zur Raumwiedergabe. 130.
Dondersische Tafel der Änderung der Akkommodationsbreite mit dem Lebensalter. 122.
Doten, I. S. (*1.*), Improvements in spectacles. 133. U. S. P. 190133 vom 1. V. 1877; appl. fil. 2. X. 1876.
Dufour, M., Erklärung der Bezeichnung bombeur de verres. 119.
Duvaldestin, . . (*1.*), Vision binoculaire. 129. Brev. d'inv. 54667, ang. 28. VI. 1862. Dieses Patent lag nur in einer Abschrift vor. v. R.
Edmunds, P. J. (*1.*), Improvements in spectacles. 135. E. P. 12852/89 vom 14. VIII. 1889.
Elkington, G. R. (*1.*), An improvement or improvements in the constructing, making, or manufacturing of spectacles. 124. E. P. 6692 vom 10. X. 1834.
Elkingtonsche Brille 124, Wiederaufnahme durch D. Hotchkiss und . . Bernard 127/128.
Emerson, A. H. s. unter M. Bentzon (*1.*) und A. H. Emerson.
Field, J. s. unter W. Pugh (*1.*) and J. Field.

Franklin, B. (*1.*), Memoirs of the life and writings of . . . etc. 116. London, H. Colburn, 1818. 6 vol. Sec. ed. Vol. III. Correspondence. 174/175 und 190/191.
Franklinsche Bifokalbrillen 63, erstes Auftreten 116, Übernahme durch . . Biette 119, unbestimmtes Vorkommen bei W. Kitchiner 122, Modifikation durch G. R. Elkington 124, durch D. Hotchkiss mittels eines Schmelzverfahrens 127, durch . . Bernard 128, durch Th. Moussier und . . Boulland mittels eines Schleifverfahrens. 128.
Fraunhofersche Linien. 95, 96.
Fullersche astigmatische Linse. 121.
Galezowski, J. (*1.*), Lunettes doubles à verres superposés pour les opérés de cataracte et les hypermétropes. 135. Rec. d'opht. 1894. (3) **16.** 525—532.
Galezowski, J. (*2.*), Verres dits isométropes. 138. Rec. d'opht. 1896. (3) **18.** 300.
Galland, P. et M. N. J. Chamblant (*1.*), Verres, miroirs et instruments d'heliophlogie et d'optique, exécutés d'après un nouveau systeme qui détruit les aberrations de sphéricité, et qui peut être employé au chauffage des appartemens et à la fusion des métaux, etc. 119. Br. d'inv. 1490 der 1. Reihe, ert. 15. VI. 1813. Descr. (1) **16.** 324—347.
Gregorysches Teleskop. 28.
Gullstrand, A. (*1.*), Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. 53, 150. Skand. Arch. f. Physiol. 1891. **2.** 269—359. Mit 1 Tafel.
Gullstrand, A. (*2.*), Ueber die Bedeutung der Dioptrie 25. 53. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1899. **49.** 46—70.
Gullstrand, A. (*3.*), Allgemeine Theorie der monochromatischen Aberrationen und ihre nächsten Ergebnisse für die Ophthalmologie. 150. Nov. Acta Reg. Soc. Ups. 1900. (3). 204 S.
Gullstrand, A. (*4.*), Über Astigmatismus, Koma und Aberration. 37. 60. Drudes Ann. 1905. (*4.*), **18.** 941—973.
Gullstrand, A. (*5.*), Die reelle optische Abbildung. 150. Kungl. Sv. Vet. Akad. Handl. 1906. **41.** 119 S.
Gullstrand, A. (*6.*), Tatsachen und Fiktionen in der Lehre von der optischen Abbildung. 99. 103. Arch. f. Optik 1907/08. **1.** 2—41; 81—97.
Gullstrand, A. (*7.*), nimmt an der Diskussion Teil. 60. 151. S. unter M. von Rohr (*9.*).
Gullstrand, A. (*8.*), Om afbildningen i ögat. (Über die Abbildung im Auge.) 12. 17. 103. Hygiea, 1908. Festband, 1—45.
Gullstrand, A. (*9.*), s. unter H. von Helmholtz (*2.*). 18. 20. 21. 22. 23.
Gullstrand, A., seine Bedeutung für die Brillenkunde 2, 33, 72, 150, 152, seine Werte für das exakte schematische Auge 13, 19, sein Ausdruck für die Vergrößerung der Presbyopen-Fernrohrbrille 30, seine Forderung asphärischer Flächen 60, seine Behandlung der astigmatischen Brillen 88, seine Formulierung der Achromasiebedingung für Brillen 99, Einführung der punktuellen Korrespondenz zum Studium des Projektionsvorganges 103, und der optischen Projektion 104, Aufstellung der Bedingung für den Augendrehpunkt 149, Bedeutung für das Brillenproblem 150, 152, 153, Forderung asphärischer Umdrehungsflächen. 150.
Gullstrandsche Bedingung. 33, 40.
Gullstrandsche Starbrillen. 59, 60, 61, 89, 102, 111.
Hansel, R. (*1.*), Unbreakable substitute for glasses for clocks, watches, lockets, spectacles and optical lenses. 135. E. P. 7954/93 vom 19. IV. 1893.
Hart, H. H. (*1.*), Lens, spectacles, or eyeglasses. 135. U. S. P. 573087 vom 15. XII. 1896; appl. fil. 4. VIII. 1896.
Heilborn, Fr. (*1.*), Siebbrille für Kurzsichtige. 135. D. R. P. 89105 vom 26. VII. 1895; ausgeg. 3. XI. 1896. Siehe auch ein amerikanisches, englisches und französisches Patent. v. R.
Helmholtz, H. (*1.*), Handbuch der physiologischen Optik. 130. Bd. IX der Karstenschen Allg. Encycl. d. Physik. Leipzig, L. Voss, 1867. XIV, 874, (1) S. gr. 8°.

Mit 213 Textfig. und 11 Tafeln. Das Werk erschien in vier Teilen, 1856 (bis S. 336), 1860 (bis S. 432), Anfang 1866 (aller Wahrscheinlichkeit nach bis S. 656) und Ende 1866. v. R.

von Helmholtz, H. (*2.*), Handbuch der Physiologischen Optik. Dritte Aufl., ergänzt u. herausg. in Gemeinschaft mit Prof. Dr. A. Gullstrand u. Prof. Dr. J. von Kries von Prof. Dr. W. Nagel. Erster Band Hamburg u. Leipzig, L. Voss, 1909. XVI, 376 S. Lex. 8° mit 146 Textfig.

Herrmannsche Formeln von F. Ostwalt benutzt. 143.

Hertel, Chr. G. (*1.*), Vollständige Anweisung zum Glaßschleiffen, Wie auch zu Verfertigung derer Optischen Maschinen, die aus geschliffenen Gläsern zubereitet und zusammengesetzt werden, Nebst einer Vorrede Herrn Christian Wolffes. 114. Halle, Rengerische Buchhandl., 1716 (XXIV) 160 (X) S. 8° mit 20 Tafeln.

Hertel, E. (*1.*), Zur Praxis der anastigmatischen Stargläser. Mit zwei Taf. (vom 5. VIII. 1908). 151. Ber. über die XXXV. Vers. d. Ophthalm. Ges. Heidelberg 1908. 32—36. Disk. 37—38.

Hertel, E. (*2.*), Über Ersatz der operativen Korrektion hochgradiger Myopie durch eine Gläserkombination (Fernrohrbrille). Mit 1 Tafel und 2 Textfig. 30. 62. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1910. **75.** 586—604.

Hess, C. (*1.*), Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges mit einleitender Darstellung der Dioptrik des Auges. (Mai 1902.) 11. 18. 70. 73. Graefe-Sämischs Handbuch der Augenheilkunde. 2. Aufl. **8.** Kap. 12. 523 S. gr. 8° mit 105 Textfig.

Hess, C. (*2.*), Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. (Dez. 1908.) 11. 18. 70. 73. Graefe-Sämischs Handbuch der Augenheilkunde. 3. Aufl. **8.** Kap. 12. IX, 618 S. gr. 8° mit 105 Textfig. und 4 Taf.

Hess, C. (*3.*), Ueber einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschärfe. 19. Bericht, erstattet im Auftrage der Kommission (auf dem internationalen Ophthalmologenkongress zu Neapel 1909) 5—24.

von Höegh, E. (*1.*), Bemerkungen zu dem Werke »Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs von M. von Rohr« 45. Arch. f. wiss. Phot. 1900. **2.** 83—91.

Hotchkiss, D. (*1.*) & B. R. Norton, Glasses for spectacles. 127. U. S. P. 6369 vom 17. IV. 1849. Die Patentbeschreibung ist nicht gedruckt, dagegen ist der Anspruch veröffentlicht worden. Rep. of the comm. of Pat. 1849. 238.

Hudson, J. T. (*1.*), Useful remarks upon spectacles, lenses and opera-glasses; with hints to spectacle wearers and others; being an epitome of practical and useful knowledge upon this popular and important subject. 125. London, J. Thomas, 1840. 32 S. 8°.

Jachau, Ch. H. L. (*1.*), Spectacles. 125. U. S. P. 1130 vom 20. IV. 1839. Die Patentbeschreibung ist nicht gedruckt und über ihren Inhalt ist nichts veröffentlicht worden. Hier lag eine Abschrift vor. v. R.

Javal, E. (*1.*), Histoire et bibliographie de l'astigmatisme. 121. 126. (31. III. et 30. IV.) Ann. d'ocul. 1866. **55.** (9) **5.** 105—127.

Joerden, H. C. (*1.*), Bifocal lens. 139. U. S. P. 839998 vom 1. I. 1907; appl. fil. 13. III. 1906.

Johnson, G. Lindsay (*1.*), Dr. Tscherning, orthoscopic spectacles. Translated and communicated by G. L. J. (read 17. X. 1905). 149. Trans. Ophthalm. Soc. Un. Kingd. 1905/06. **26.** 208—214.

Jones, W. (*1.*), Observations on Dr. Wollaston's statements respecting an improvement in the form of spectacle-glasses. 118. Phil. Mag. 1804. **18.** 65—71. Febr.-Heft.

Jones, W. (*2.*), An examination of Dr. Wollaston's experiment on his periscopic spectacles. 118. (April 10.) Phil. Mag. 1804. **18.** 273—275. April-Heft.

von Kamptz, F. (*1.*), Augengläser für Farbenblinde. 135. D. R. P. 59782 vom 29. I. 1891; ausgeg. 25. XI. 1891.

Kight, W. K. (*1.*), Lens. 139. U. S. P. 896393 vom 18. VIII. 1908; appl. fil. 22. IV. 1908.
Kitchiner, W. (*1.*), The economy of the eyes: precepts for the improvement and preservation of the sight. Plain rules which will enable all to judge exactly when, and what spectacles are best calculated for their eyes observations on opera glasses and theatres, and an account of the pancratic magnifier, for double stars, and day telescopes. 120. 122. London, Hurst, Robinson, & Co., and Edinburgh, Arch. Constable, 1824. VIII, 246 S. kl. 8° mit 2 Kupfertafeln.
Klein, E. (*1.*), Gewölbtes Brillenglas mit besonderem Schliff auf der Rückseite des Glases. 138. D. R. G. M. 330835/Kl. 42 h, einger. 24. I. 1908, eingetr. 18. II. 1908.
Klein, E. (*2.*), Gewölbtes Brillenglas mit mehrfachem Schliff. 138. D. R. G. M. 390696/Kl. 42 h, einger. 2. III. 1908, eingetr. 15. IX. 1909.
König, A. (*1.*) und M. von Rohr, Die Theorie der sphärischen Aberrationen. 42. von Rohr, M. (*2.*), 208—338.
König, A. (*2.*), Die Berechnung optischer Systeme auf Grund der Theorie der Aberrationen. 45. S. unter von Rohr, M. (*2.*), 373—408.
König, A. (*3.*), Die Bilddrehung durch Prismen. 72. S. unter von Rohr, M. (*2.*), 444—448.
Krecke, W., Konstruktion einer prismatischen Brille. 127.
Lazarus, N. (*1.*), Improvements in the manufacture of achromatic lenses. 134. E. P. 4339/81 vom 5. X. 1881; compl. spec. 5. IV. 1882.
Listing, J. B. (*1.*), Vorschlag zu fernerer Vervollkommnung des Mikroskops auf einem abgeänderten dioptrischen Wege. (Aus d. Gött. Nachr. 1869, Nr. 1.) 96. Pogg. Ann. 1869. **136.** 467—472. S. 472.
Listingsches Gesetz der Augendrehung. 82. 83, 95.
Maire, .. s. unter .. Plagniol et .. Maire.
Martin, B., englischer Optiker. 120.
Miller, H. P. (*1.*), Improvements in aperture sighting-apparatus for ensuring accuracy of aim with fire-arms. 135. E. P. 8675/86 vom 2. VII. 1886; compl. spec. 30. III. 1887.
van Minden, .. (*1.*), Lunettes permettant de voir de loin et de près ou d'affaiblir facultativement l'éclat de la lumière. 128. Br. d'inv. 21135, ang. 16. X. 1854, vom 8. XII. 1854. Descr. (2) **42.** 59—60.
Monoyer, F. (*1.*), Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des verres de lunette, et sur le choix d'une unité de réfraction. 132. (1. X. 72.) Ann. d'Ocul. 1872. **68.** 104—117.
Moussier, Th. Pr. (*1.*) et Boulland ..., Verres de lunettes. 127. Brev. d'inv 9428 ang. 14. XII. 1849, vom 10. IV. 1850. Cert. d'add. vom 27. VI. 1851. Descr. (2) **16.** 341—342.
Moussier, Th. Pr. (*2.*) et Boulland .., Verres de lunettes périscopiques à foyer achromatisé. 127. 128. Brev. d'inv. 13214 ang. 11. III. 1852 vom 30. IV. 1852. Descr. (2) **21.** 284—285. In einer neuerdings angefertigten Abschrift der Akten lautet der Titel übrigens: Description des verres de lunettes périscopiques **ou** à foyer achromatisé. v. R.
Moussier, Th. Pr. (*3.*) et Boulland .., Verres de lunettes périscopiques achromatisés. 127. 128. Cert. d'add. zu 13214 ang. 11. VIII. 1855. Lag nur in einer Abschrift vor. v. R.
Müller, J., Würdigung des Augendrehpunkts. 118.
Nagel, A. (*1.*), Die Refractions- und Accommodations-Anomalieen des Auges. 132. Tübingen, H. Laupp, 1866. VIII, 217 S. 8° mit 21 Textfig.
Nagel, A. (*2.*), Die Benutzung des Metermaasses zur Numerirung der Brillen. 132. Klin. Monatsbl. 1868. **6.** 65—78.
Nagel, A. (*3.*), Die Anomalieen der Refraction und Accommodation des Auges. 132. Graefe-Sämischs Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Leipzig, W. Engelmann, 1880, Cap. X. 257—503. **6.** Enthält des Verfassers eigene Darstellung der Dioptriefrage. v. R.

Nitschmann, F. (*1.*), Aus mehreren Gläsern mit verschiedenen Krümmungshalbmessern zusammengesetztes Brillenglas. 138. 140. D. R. G. M. 53815/Kl. 42, eing. 30. I. 1896, eingetr. 10. III. 1896.
Nitschmannsche Gläser. 6.
Norton, B. R., s. unter Hotchkiss, D. & B. R. Norton.
Oppel, J. J., Ansatz zur Würdigung des Augendrehpunkts. 152.
Oppenheimer, E. H. (*1.*), Theorie und Praxis der Augengläser. 2. 3. 68. 70. Berlin, A. Hirschwald, 1904. VIII, 200 S. gr. 8° mit 181 Textfig.
Oppenheimer, E. H. (*2.*), Abriß der Brillenkunde. 2. Graefe-Sämischs Handbuch d. ges. Augenheilk. II. Teil. **4.** 2. Abt. III. Kap. Nachtr. II. gr. 8°, 1—96 S. mit 66 Textfig. Ausgeg. am 23. II. 1906.
Orford, H. (*1.*), Manufacture of lenses for spectacles or eyeglasses. 32. U. S. P. 943449 vom 14. XII. 09; appl. fil. 30. I. 1909.
Ostwalt, F. (*1.*), Des verres périscopiques. (Sitz. vom 16. Mai.) 143. C. R. 1898. **126.** 1446—1449.
Ostwalt, F. (*2.*), Ueber periskopische Gläser. Mit 13 Textfig. 143. 146. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1898. **46.** 475—524. (3. Abt. ausgeg. den 4. Okt.).
Ostwalt, F. (*3.*), Recherches expérimentales sur les verres périscopiques. 145. IX. Congrès intern. d'ophtalm. d'Utrecht du 14 au 18 Août 1899. Amsterdam, F. van Rossen, 1900. XXVIII, 621 S. gr. 8°; s. S. 350—358.
Ostwalt, F. (*4.*), Weitere experimentelle Untersuchungen über die periskopischen Gläser nebst einem berichtigenden Nachtrage zu der in diesem Archiv, Bd. XLVI, 3 erschienenen Arbeit des Verfassers. 144. 145. 146. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1900. **50.** 44—62 mit Taf. III und 5 Textfig. (1. Abt. ausgeg. d. 8. Juni.)
Ostwalt, F., seine Stellung zum Brillenproblem. 153.
Ostwaltscher Zug auch Ostwaltsche Form 43, 46, 49, 50, 54, 55, 61, 67, 88, 142, 144, 147.
Parent, .. (*1.*), Nimmt an der Diskussion über J. L. Borsch jr. (*1.*) Teil. 140.
Percival, A. S. (*1.*), Periscopic lenses. 146. Arch. of Ophthalm. 1901. **30.** Nr. 5. Sept. 520—528.
Percival, A. S. (*2.*), Periscopic lenses. 147. Arch. of Ophthalm. 1903. **32.** Nr. 4. Juli. 367—368.
Pergens, Ed. (*1.*), Geschichtliches über prismatische Brillen und Zentren. 117. 127. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1903. **41.** 2. Bd. 234—235.
Pergens, Ed. (*2.*), Ueber die Schleifart und das Kaliber von Brillengläsern. 5. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1904. **42.** 1. Bd. 560—565.
Pergens, Ed. (*3.*), Zur Geschichte der Isochromgläser. 126. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1905. **43.** 2. Bd. 486—487. Nov.-Heft.
Petzvalsches Gesetz s. u. Coddington.
Pierce, S., Einfluß auf W. Kitchiner. 122.
Plagniol, A. A. (*1.*), Additions aux instruments d'optique. 127. Br. d'inv. 14182 (2. Reihe), ang. 3. X. 1845 vom 4. XI. 1845. Cert. d'add. vom 23. II. 1849. Descr. 1850. (2) **5.** 177.
Plagniol, A. A. (*2.*), Perfectionnements applicables aux jumelles, longue-vues, stéréoscopes et à tous les instruments d'optique en général. 127. Brev. d'inv. 14472, ang. 9. XI. 1852 vom 14. X. 1852. Cert. d'add. vom 2. VI. 1855. Descr. 1858. (2) **29.** 90—92.
Plagniol, .. (*3.*) et Maire, .., Un système de lunettes et longues-vues, microscopes et autres instruments d'optique à verres périsco-hyperboliques, dit système à objectifs mono-lenticulaires. 131. Brev. d'inv. 70300 vom 6. II. 1866. Descr. (2) **98.** 44.
Ponti, C., seine isochromen Gläser. 126.
Porrosches Phozometer. 149.
Prenticesches Meßverfahren der prismatischen Ablenkung. 70.

Pugh, W. (*1.*) and J. Field, Improvements in the construction of cataract and other lenses for defective visions. 134. 138. 140. E. P. 3678/68 vom 3. XII. 1868.
Ramsdensche willkürliche Brillenbezifferung. 122.
Reverardsche Isometropgläser. 138.
Ribard, E. (*1.*), Streifenförmige Augengläser. 139. D. R. G. M. 191651/Kl. 42 h; einger. 3. XII. 1902; eingetr. 16. I. 1903.
Roberts, Fr. K. (*1.*), Spectacles. 134. U. S. P. 291778 vom 8. I. 1884; appl. fil. 26. XI. 1883.
Rodenstock, G. (*1.*), Neuerungen an Augengläsern. 134. D. R. P. 10252 vom 18. VII. 1879; ausgeg. 14. VII. 1880.
von Rohr, M. (*1.*), The verant, a new instrument for viewing photographs from the correct standpoint. Mit 9 Textfig. (Read 10. XI. 1903.) 149. The Phot. Journ. 1903. **43.** 279—290.
von Rohr, M. (*2.*), Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von Carl Zeiss, P. Culmann S. Czapski, A. König, F. Löwe, M. von Rohr, H. Siedentopf, E. Wandersleb. Herausgeg. von —, — Berlin, J. Springer, 1904. XXII, 587 S. 8° mit 133 Textfig.
von Rohr, M. (*3.*), s. unter A. König (*1.*) und M. von Rohr.
von Rohr, M. (*4.*), Das Sehen. 107. S. Czapski (*1.*), 270—295.
von Rohr, M. (*5.*), Die Brillen. S. Czapski (*1.*), 320—328. 18. 25. Versehentlich als **4.** zitiert.
von Rohr, M. (*6.*), Sammelndes System zu visuellem Gebrauch. 58. 151. D. R. P. 213868 vom 26. VII. 1908; ausgeg. 5. X. 1909.
von Rohr, M. (*7.*), Meniskenförmiges Brillenglas. 151. D. R. P. 217254 vom 1. VIII. 1908; ausgeg. 22. XII. 1909.
von Rohr, M. (*8.*), Stark sammelndes achromatisches Brillenglas. 151. D. R. P. 219895 vom 5. VIII. 1908; ausgeg. 10. III. 1910.
von Rohr, M. (*9.*), Die Theorie anastigmatischer Starbrillen. Mit 6 Textfig. (Vom 5. VIII. 1908.) 58. 150. 151. Ber. über die XXXV. Vers. d. Ophthalm. Ges. Heidelberg 1908. 25—32. Disk. 37—38.
von Rohr, M. (*10.*), Meniskenförmiges, für ferne Gegenstände astigmatisch korrigiertes Brillenglas. 142. D. R. P. 217963 vom 2. II. 1909; ausgeg. 19. I. 1910.
von Rohr, M. (*11.*), Zur Dioptrik des Auges. 34. Erg. d. Physiol. von L. Asher und K. Spiro. 1909. **8.** 541—592. Mit 22 Textfig.
von Rohr, M. (*12.*), Vergrößerndes Brillenglas für Kurzsichtige. 151. D. R. P. 227921 vom 10. IX. 1909; ausgeg. 31. X. 1910.
von Rohr, M. (*13.*), Zur Theorie der Fernrohrbrille. Mit 7 Textfig. 29. 30. 62. 151. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1910. **75.** 561—585.
von Rohr, M. (*14.*), Über Gullstrandsche Starbrillen mit besonderer Berücksichtigung der Korrektion von postoperativem Astigmatismus. (Vortr. vor der Ophth. Ges. den 6. VIII. 1910.) 152. Ber. über die XXXVI. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1911. 186—195 mit 4 Textfig. und 2 Tafeln.
von Rohr, M., Zugehörigkeit zur Abbeschen Schule 150, Beziehung zu A. Gullstrand 150, 151.
Roth, A., Konstrukteur einer Lochbrille. 135.
Rowell, J. R. (*1.*), Improvements in lenses for spectacles. 134. U. S. P. 210712 vom 10. XII. 1878; appl. fil. 24. VI. 1878.
Schnaitmann, I. (*1.*), Spectacle glasses. 124. U. S. P. . . . vom 20. II. 1836. Die Patentbeschreibung ist nicht gedruckt und über ihren Inhalt nichts veröffentlicht worden. Nur die Zeichnung wurde publiziert. Eine Abschrift lag vor. v. R.
Schönstädt, G. (*1.*), Perspektiv-Brillen. 124. Öst. Priv. vom 10. IX. 1835. Beschr. **1.** 303.

Schott, O.. Aufführung der Glasarten nach dem ν-Wert. 96.

Schwinzer, J. R. (*1.*), Method of making bifocal lenses. 141. U. S. P. 869938 vom 5. XI. 1907; appl. fil. 31. X. 1905.

Seymour, W. I. (*1.*), Improved method of forming lenses. 141. E. P. 16844/07 vom 23. VII. 1907; acc. 7. XI. 1907. Diese Erfindung ist auch durch ein deutsches und ein französisches Patent geschützt worden. v. R.

Seymour, W. I. (*2.*), Method of forming lenses. 141. U. S. P. 914316 vom 2. III. 1909; appl. fil. 8. VII. 1907.

Slagle, S. (*1.*), Eye glas slens. 140. U. S. P. 815648 vom 20. III. 1906; appl. fil. 26. IV. 1905.

Slotterbek, Ch. (*1.*), Eye glasses or spectacles. 134. U. S. P. 311645 vom 3. II. 1885; appl. fil. 16. VIII. 1884.

Smith, A. (*1.*), A method of constructing and making spectacles. 115. E. P. 1359 vom 13. III. 1783.

Solomons, G. und E. (*1.*), Improvements in preparing certain transparent substances for spectacles and other purposes. 124. E. P. 6224 vom 16. II. 1832.

Steinheilscher Konus. 31, 124.

Storer, W. (*1.*), A method of preparing syllepsis glasses, and also the application thereof to optick instruments in general, particularly tellescopes, microscopes, reading glasses, opera glasses, and spectacles. 116. E. P. 1407 vom 12. XII. 1783.

Straubel, R. (*1.*), Ueber die Abbildung einer Ebene durch ein Prisma. 72. Drudes Ann. (3) **8.** 1902. 63—80.

Sulzer, . . (*1.*), Note sur les verres à la Chamblant. 121. Ann. d'ocul. 1902. **127.** 401—409.

Suscipi, . ., Herstellung einer torischen Fläche. 127.

Tscherning, M. (*1.*), nimmt an der Diskussion über F. Ostwalt (*3.*) Teil. 145. A. a. Orte 358—365.

Tscherning, M. (*2.*), Dioptrique oculaire. 50. 147. 149. Encyclopédie Française d'ophtalmologie. **3.** 105—286. Paris, O. Doin, 1904.

Tscherning, M. (*3.*), Verres de lunettes orthoscopiques. 149. Arch. f. Optik, 1907/08. **1.** 401—414. (Aug. 1908).

Tscherning, M., seine Stellung zur Bildfeldkrümmung von Brillengläsern 146, zur Verzeichnungsfreiheit von Korrektionsbrillen 148/149, seine Bedeutung für das Brillenproblem. 153.

Tscherningsche Werte für punktuell abbildende Linsen. 49.

. . Watkins, seine »achromatischen« Gläser. 126.

de Wecker, L. (*1.*), nimmt an der Diskussion über J. L. Borsch jr. (*1.*) Teil. 140. An dieser Stelle als L. de W. aufgeführt, doch steht das in Widerspruch mit den Angaben in älteren Berichten der Ophthalm. Gesellsch., wo er als L. von W. erscheint. v. R.

Wheatley, G., Beziehungen zu B. Franklin. 116.

Wells, W. Ch. (*1.*), Two Essays: one upon single vision with two eyes; the other on dew etc. 117. By the late . . . . London, Arch. Constable and Co., 1818. LXXIV, 439 S. 8°. S. namentlich 94—106. Die Originalveröffentlichung, die ich nicht habe einsehen können, ist nach Ed. Pergens (*1.*) 1792 in London erschienen. v. R.

Wimmer, J. (*1.*), Process of manufacturing bifocal lenses. 141. U. S. P. 848335 vom 26. III. 1907; appl. fil. 19. XI. 1906.

Wollaston, W. H. (*1.*), On an improvement in the form of spectacle glasses. 118. Phil. Mag. **17.** 327—329. Jan.-Heft 1804.

Wollaston, W. H. (*2.*), An improvement in spectacles by the application of concavo-convex glasses to them. 118. E. P. 2752 vom 7. III. 1804.

Wollaston, W. H. (*3.*), Experiment showing the advantage of periscopic spectacles. 118. (March 30, 1804.) Phil. Mag. 1804. **18.** 165—166. März-Heft.

Wollastonscher Zug auch Wollastonsche Form 43, 46, 49, 50, 55, 56, 61, 66, 75, 77, 88, 144, 149.

Wray, W. (*1.*), Improvements in achromatic object glasses. 140. E. P. 920/66 vom 31. III. 1866.

Yeiser, Fr (*1.*), Improvements in spectacles. 133. U. S. P. 170795 vom 7. XII. 1875; appl. fil. 23. X. 1875.

Young, Th. (*1.*), On the mechanism of the eye. 118. (27. XI. 1800.) Phil. Trans. 1801. **102.** 23—88. Mit 5 Tfln. S. auch die Tscherningsche Übersetzung auf S. 73—232 in Oeuvres ophthalmologiques de Thomas Young, traduites et annotées par M. Tscherning, Copenhague, Höst & Sön, 1894. 8°. VIII, 248 S. Mit 3 Tfln. und 95 Textfig.

Zeiss, C., Brillenpatente s. unter M. von Rohr.

Register.

Abflachende Wirkung von Sammelgläsern 108.
Abflachungswert Φ 60.
Absolute Sehschärfe 19, 21.
Abstufung der Brillen nach dem Radius der Schleifschale nach Chr. G. Hertel 114, nach J. T. Hudson 125, willkürliche nach J. Ramsden 122, nach A. Chevalier 131, nach Dioptrien von A. Nagel, E. Javal und F. Monoyer 132.
Achromasie der Brechkraft 98, der Hauptstrahlneigung 99.
Achromatische Fernrohrbrillen 102.
Achromatische, punktuell abbildende Starbrillen 100.
Achromatisierung eines dünnen binären Systems 98, durch E. Fl. Courvoisier 131, und E. Derogy 132, nach N. Lazarus 134.
Achsenametropien 9.
Akkommodationsbreite und die Brille 18.
Anastigmatisch, Definition 53.
Anastigmatische Brillen 77.
Anisometropie 113, Brillen dafür 113.
Anorthoskopie s. unter Verzeichnung.
Aphakische Augen 17.
Asphärische Umdrehungsflächen 46, 59, ihre Forderung durch A. Gullstrand 150, ihre frühe Herstellung durch E. Abbe 151.
Asphäro-sphärische Starlinsen 59, Möglichkeit, sie auch auf Verzeichnung zu korrigieren 64, erste Konstruktion 151.
Asphäro-torische Starlinsen 88, 89, ihre erste Herstellung durch O. Henker 152.
Astigmatische Brillen 79, gewöhnliche 80, auf der bewegten Netzhaut punktuell abbildende 88.
Astigmatismus schiefer Büschel im allgemeinen 37, bei Lupenbrillen 40, bei Presbyopenbrillen 47, bei Korrektionsbrillen 47, astigmatischer Brillen As, Definition 79, bei zwei gewöhnlichen astigmatischen Brillen 86, bei zwei zweckmäßig durchgebogenen astigmatischen Brillen 90.
Augenbasis I 110.
Augendrehpunkt als Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen 33, seine Lage zur Brille 41, als Zentrum der Perspektive 103.
Beidäugige Brille, Möglichkeit eines einheitlichen Raumbildes 112, 113, Konstruktion von . . Duvaldestin 129, von P. J. Edmunds 135.
Bergkristallbrillen 4, s. auch unter Quarzbrillen.
Bifokalbrillen im allgemeinen 31, 63, mit punktueller Abbildung wenigstens in einem Felde 63, 64, mit sprunglosem Übergang 65, mit eingeschmolzener Linse 67, Annäherung der Fernteile bei beidäugigen — 112, zuerst bei Th. Moussier und .. Boulland 128, bei S. Slagle 140, geschliffene zuerst bei Chr. Hertel 115, durch Aussparung und Verwendung von Medien verschiedener Brechung bei D. Brewster 121, durch Aufkitten nach Th. Pr. Moussier und .. Boulland 128, durch Ausschleifen nach denselben 128, ihre Fassung nach I. S. Doten 133, und F. K. Roberts 134, neuere durch mechanische Vereinigung 139, durch Verkittung 139, 140, durch Verschmelzen 140, 141, durch Anschliff 142.
Bildfläche, ihre Form bei den Lupenbrillen 43, bei den Presbyopenbrillen 47, bei den Korrektionsbrillen 50.
Bildseitiges Abbild 105.
Brechkraft D_1 des Brillenglases 11, ihre Bestimmung an einem vorliegenden Glase 25.
Brillenformen, übliche 5, 6, 27.
Brillenscheitelrefraktion A_s 11.
Centradian (ctrd) Definition 70.
Chromatische Vergrößerungsdifferenz 99.
Dachsteinförmige Brillen 6.
Deformationskoeffizient $\varkappa$ 60.
Deformierte Flächen, s. unter asphärische Umdrehungsflächen u. S. 151.
Dezentrierung achsensymmetrischer Brillengläser zur Herstellung prismatischer Brillen 72.
Dichromatische Brillengläser 3, ihre Herstellung durch Ch. Alt 133.
Dioptrie (dptr) Definition 25, Einführung der Bezeichnung durch F. Monoyer 132.
Doppelfokusgläser s. Bifokalbrillen.
Doppelzentrikgläser 142.
Durchbiegen von Brillengläsern 25, 101.

Einfach symmetrische Brillen, anastigmatische gewöhnlicher Form 68, mit punktueller Abbildung 74, für astigmatische Augen 94, 95.
Elliptische Brillen 5.

Farbensäume bei schiefem Durchblick durch die Brille 97.
Fernpunktsfläche 34, ihr Zusammenfallen mit der Bildfläche der korrigierenden Brille von — 17,3 dptr 51, ihre Abweichung von der Bildfläche im allgemeinen 52.
Fernrohrbrillen für ruhende Augen 28, für bewegte Augen 61, schwacher Vergrößerung 31, 62, ihre Wirkung auf die Raumerfüllung 111, 112, erstes Auftreten bei H. Dixon 117, W. Kitchiner 122.
Flintglas einer achromatischen Kombination 99.

Hauptpunkte schiefer Büschel von der Neigung w bei punktuell abbildenden Linsen geringer Dicke 54, bei Fernrohrbrillen 62.
Hauptstrahlen, Definition 34.
Höhenunterschied beider Teile einer durch Schliff hergestellten Bifokalbrille 64, 65.
Hornhautastigmatismus 79.
Hufeisenförmige Brillen 6.

Isochrome Brillengläser 3, Herstellung von N. J. Lerebours und C. Ponti 126, nach W. Pugh und J. Field 131, nach E. Fl. Courvoisier 131, nach J. Fr. Alt 133.
Isometropgläser 138.
Isometropie 110.

Kalibermaße 5, 6.
Kissenförmige Verzeichnung 36, 37.
Kleine Brillengläser nach W. Storer 116, nach W. Kitchiner 122, nach J. T. Hudson 125.
Konservationsbrillen s. unter Preservativbrillen.
Korrektionswert der Ametropie 11.
Korrigierende Brillen 9, ihre Bestimmung 9, 10.
Kronglas einer achromatischen Kombination 99.
Krümmungsametropien 9, 17.
Kryptokgläser 141.

Lochbrille s. unter stenopäische Brille.
Lupenbrillen, gewöhnliche 22, punktuell abbildende 35, 40, Form ihrer Bildfläche 43, ihre Verzeichnung 46, astigmatische zweckmäßiger Durchbiegung 94.

Material für Brillengläser 4, in bezug auf die Farbenfehler 96.
Menisken als Brillengläser nach Chr. Hertel 114, nach W. H. Wollaston 118, nach R. A. Cauchoix 119, in Deutschland 119, unhaltbare Ansichten über ihre chromatischen Vorzüge 126, 127.
Mikron μ 96.

Nahepunktsfläche 34.
Natürliche Sehschärfe 20, 22.

Objektseitiges Abbild 104.
Optische Projektion 104.
Orbita 82.
Orthoptics 4, 134.
Orthoskopisch s. unter verzeichnungsfrei.

Pantascopic spectacles 124.
Perisko-hyperbolische Gläser 131.
Periskopische Gläser s. unter Menisken.
Perspektivbrillen 124.
Perspektive, ihre Änderung durch die Brille 102.
Preservativbrillen nach G. Adams 115, nach J. Beer 120, nach W. Kitchiner 122, nach J. T. Hudson 125, nach Ch. Chevalier 126.
Porrhallaktische Wirkung von Brillengläsern 107, der Brille für beide Augen 110.
Postoperativer Astigmatismus 79.
Presbyopenbrillen, gewöhnliche 22, Presbyopen-Fernrohrbrillen 30, punktuell abbildende 46, astigmatische von zweckmäßiger Durchbiegung 94.
Primäre Farben 97.
Primärstellung des Auges 82, 95.
Prismatische Brillen s. unter einfach symmetrische Brillen.
Prismatische Wirkung bei Bifokalbrillen und ihre Vermeidung 32, 65.
Prismendioptrie (prdptr) Definition 70.
Punktuell abbildende Brillen 32.
Punktuell abbildende Korrektionsbrillen 47, Behandlung dieses Problems durch F. Ostwalt 143—146, A. S. Percival 146, 147, M. Tscherning 147—149, A. Gullstrand und M. von Rohr 149—150.
Punktuelle Korrespondenz 36, 103.

Quarzbrillen 4, A. Chevaliers Meinung von ihnen 130, 131.
Quasihomozentrisch 53.

Rand der Brillengläser 5, H. Harts Vorschlag zu seiner Bestimmung 135.
Raumerfüllung durch die Brille 102, Stellungnahme dazu von F. C. Donders 130.
Relative Sehschärfe 21, 22.
Rollung des Auges 82.
Rückblickbrillen 3, nach A. de la Court 123.
Runde Brillen 5.

Sagittale (f-) Büschel 39.
Schärfenfläche 34.
Schärfentiefe und die Brille 18.
Schärfenraum 34.
Schielbrillen 68, nach D. Adams 117, nach A. A. Plagniol 127, nach A. Chevalier 131.
Schießbrillen 4.
Schneebrillen 3.
Schnittweite s' des Brillenglases 10, 11.
Schutzbrillen 2, s. auch unter visual spectacles.

Sehschärfe, absolute 19, natürliche 20, relative 21.
Seitenblickbrillen 3, nach A. de la Court 123.
Sekundäre Farben 98.
Sekundärstellung des Auges 82.
Sphäroidische Flächen s. unter asphärische Umdrehungsflächen und S. 151.
Sphäro-torische Linsen 81, ihre Herstellung durch .. Suscipi 127, Percivalsche Andeutungen 147.
Sphäro-zylindrische Linsen 80—81, Erfindung durch G. B. Airy 121.
Sprungloser Übergang bei Bifokalbrillen 65.
Starlinsen aus zwei sphärischen Bestandteilen 58, mit einer asphärischen Fläche 59, asphäro-torische 88, achromatische 100.
Stenopäische Brillen 4, ihre Entwicklung 134, 135.
Symmetrieebenen einer astigmatischen Linse 83.

Tangentiale (*t*-) Büschel 39.
Tonnenförmige Verzeichnung 36.
Torische Flächen 81, torische Linsen 81.
Toro-torische Linsen 81.
Totalastigmatismus 79.
Trägerschicht 7, 101, Courvoisiersche Erfindung 131, Verdienste von W. Pugh und J. Field 131, sowie von F. Nitschmann 138.

Umdrehungsflächen an Brillengläsern 7.
Uni-Bifo-Gläser 142, Uni-Bifo-Luxe-Gläser 142.

Verantlupe 150.
Vertiefende Wirkung von Zerstreuungsgläsern 108.
Verzeichnung im allgemeinen 35, bei Lupenbrillen 46, bei Presbyopenbrillen 47, bei korrigierenden Brillen mit bewegtem Auge 55, 57, mit ruhendem Auge und schiefer Blickrichtung 57, bei einer speziellen prismatischen Brille 78.
Verzeichnungsfrei 36.
Visual spectacles nach B. Martin 120, nach Ch. Jachau 125, nach H. Bluhm 135.
Vorhängebrillen im allgemeinen 31, mit punktueller Abbildung 63, nach A. Smith 115, 126, nach W. Kitchiner 122, nach .. van Minden 128, spätere Anbringungsarten 129, nach J. Braham mit horizontaler Feder 129, nach A. Bourgeois 135.
Vorrechnungsformeln 42, 47, 48.

Wulstfläche 81.

Zentrische Benutzung 39.
Zerstreuungsvermögen ($1 : r$) 96.
Zonen des Astigmatismus schiefer Büschel bei Lupenbrillen 43, bei Korrektionsbrillen 49 ,50.
Zusammensetzung von Abbildungen bei astigmatischen Linsen 83.
Zusatzgläser s. Vorhängebrillen.
Zweifach symmetrische anastigmatische Brille 68.
Zweifach symmetrische punktuell abbildende Brille 68, 93.
Zylinderachse 80.
Zylinderlinse 80, nach P. Galland und M. Chamblant 119, 121, nach I. Schnaitmann 125, nach Ch. Chevalier 126.
Zylinderflächen, gekreuzte 81, ihr erstes Auftreten 121.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

51159